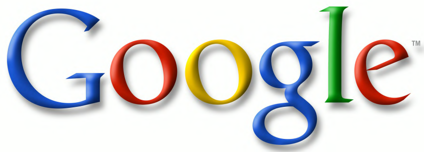
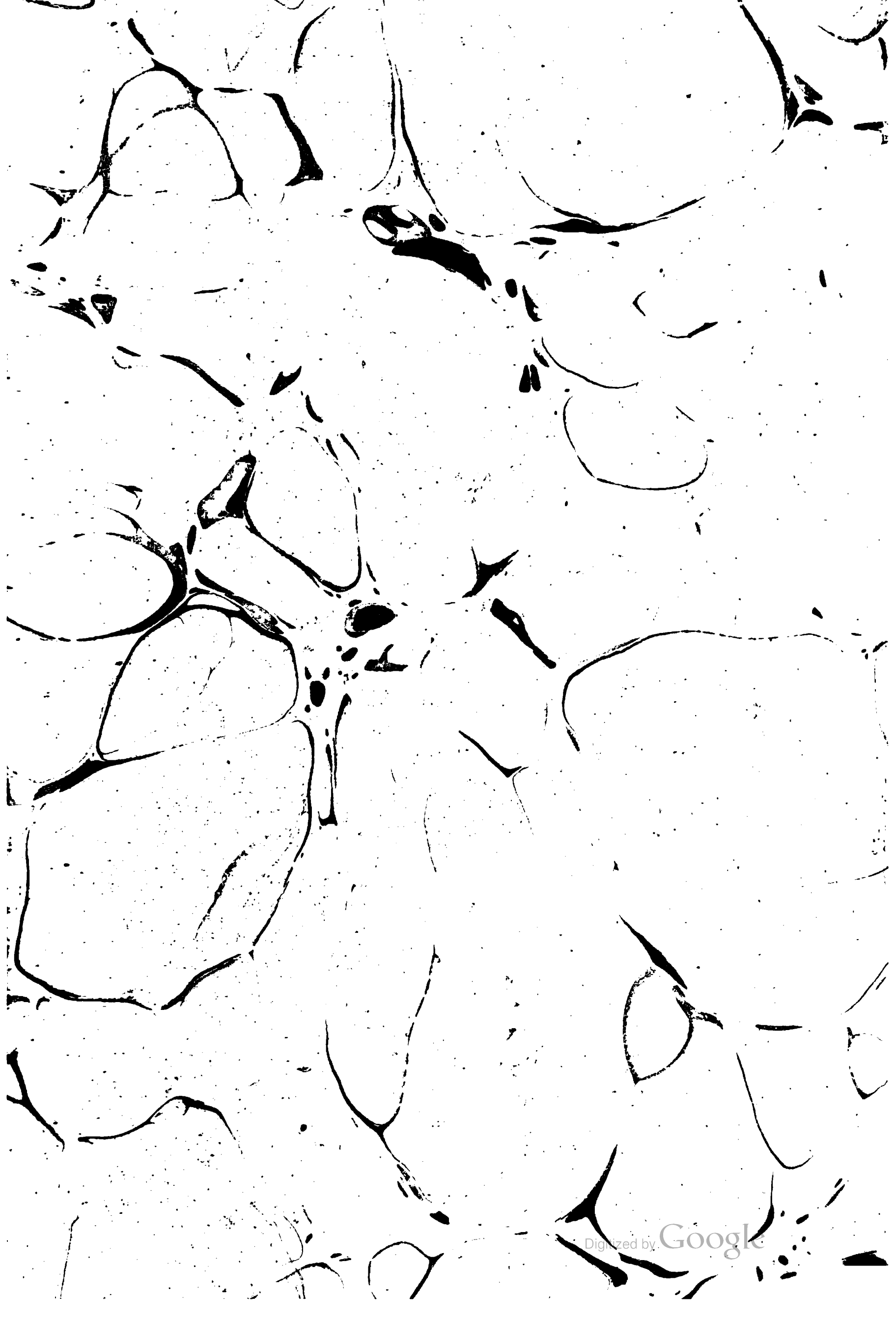




LES

AUTOMOBILES

LES

AUTOMOBILES

Voitures

Tramways et Petits Véhicules

PAR

D. FARMAN

Ingénieur-Mécanicien

Avec une Lettre-Préface

De M. le Bon de ZUYLEN de NYEVELT

PRÉSIDENT DE L'AUTOMOBILE CLUB DE FRANCE

AVEC 112 FIGURES DANS LE TEXTE

PARIS

LIBRAIRIE INDUSTRIELLE

J. FRITSCH, ÉDITEUR

30, RUE DU DRAGON, 30

—

1896

PRÉFACE

—

L'intérêt avec lequel je vois la nouvelle industrie de la locomotion mécanique se développer en France, me porte à vous féliciter vivement de la tâche que vous avez entreprise, et si, malgré votre aimable insistance, je me défends de vouloir faire une préface, je ne résiste pas au plaisir de reconnaître l'opportunité et la valeur de votre intéressant ouvrage.

Les résultats obtenus par nos constructeurs français ont été tels, qu'une question à l'étude, il y a quelques années à peine, est devenue un des éléments les plus importants de l'industrie nationale.

C'est une œuvre utile que de vouloir vulgariser des résultats aussi brillamment acquis, faire connaître les travaux des chercheurs et répandre l'amour de cette nouvelle et féconde application de la mécanique à la traction sur route.

L'idée que vous avez suivie en écrivant votre livre répond à ce but, et je ne doute pas que vos lecteurs n'éprouvent le même plaisir que moi à

parcourir la seconde partie de votre traité, dans lequel se trouve l'histoire et la description de nos véhicules de l'avenir.

Je laisse aux théoriciens, aux savants, le soin de puiser dans la première partie les renseignements scientifiques, les détails techniques et les lois qui régissent l'industrie nouvelle.

*Votre livre aura certainement le meilleur accueil auprès des membres de l'*Automobile-Club de France *qui, tous, suivent avec le plus grand intérêt la lutte passionnante entre le pétrole, la vapeur, le gaz, l'air comprimé, l'électricité, qui se disputent énergiquement la gloire de nous servir.*

Vos lecteurs moins au courant de ces questions apprendront à connaître les différences de chacun de ces systèmes, acquerront ainsi le désir de s'initier aux charmes de l'automobilisme et deviendront, grâce à vous, de fervents adeptes de la locomotion nouvelle.

Recevez, je vous prie, cher M. Farman, l'expression de mes plus empressés et distingués sentiments.

B^on^ DE ZUYLEN DE NYEVELT.

Président de l'*Automobile-Club de France.*

LES AUTOMOBILES

CHAPITRE PREMIER

INTRODUCTION

Née d'hier, la locomotion a pris un tel essor qu'il est impossible d'en présenter une étude complète dans le petit ouvrage que nous offrons au public. L'électricité, la vapeur, l'air comprimé et enfin les essences de pétrole ont tour à tour apporté leur concours, comme générateurs d'énergie, à la solution du problème.

C'est donc l'électricité, la thermodynamique et la chimie qu'il nous faudrait d'abord passer en revue ; viendrait ensuite la mécanique générale et son application spéciale aux diverses sources d'énergie que nous avons à envisager. Ce programme est absolument hors du cadre de notre ouvrage. Nous nous bornerons donc à effleurer la question des automobiles à vapeur, électriques, à air comprimé et autres, et nous consacrerons une étude plus approfondie aux moteurs à essence de pétrole qui semblent en ce moment être appelés à un brillant avenir.

Mais, avant de commencer notre étude, nous croyons bon de rappeler au lecteur les lois fondamentales de la thermodynamique des gaz parfaits, car, ces lois se représenteront constamment sous notre plume dans le courant de ce travail.

Dans les notions théoriques qui vont suivre, nous supposerons toujours que nous avons à faire à des gaz qui suivent la loi de Bayle et de Gay-Lussac. Pratiquement, aucun gaz connu ne suit exactement ces deux lois, mais l'accord est assez rigoureux pour nous permettre de prévoir, à l'aide des formules déduites de ces deux hypothèses, ce qui se passe dans nos moteurs.

Loi de Bayle. — La loi de Bayle ou de Mariotte s'exprime par la formule

$$pv = p_1v_1 = C,$$

qui signifie simplement que toute variation de la pression agissant sur un gaz est accompagnée d'une variation proportionnelle du volume. Si, par exemple, un gaz quelconque occupe un litre d'air à la pression atmosphérique, la loi de Bayle nous apprend que si nous doublons la pression, le volume occupé par le gaz diminuera de moitié.

Loi de Gay-Lussac. — La loi de Gay-Lussac veut que toute variation de température soit accompagnée d'une variation correspondante de volume si la pression ne varie pas.

Désignons par α la quantité dont s'accroît l'unité de volume du gaz considéré par degré de température. Si le gaz passe d'une température t à une valeur plus élevée t', l'accroissement de son volume sera représenté par

$$\Delta V = \alpha(t - t')V,$$

de sorte que le volume V' du gaz à t' degré sous la pression constante p, aura pour valeur :

$$V' = V + \Delta V = V + \alpha(t - t')V.$$

Si on fait $t = o$, on aura :

$$V' = V_0 + \alpha V_0 t'$$

ou bien

$$V' = V_0(1 + \alpha t').$$

Telle est la formule représentant la loi de Gay-Lussac.

On a trouvé expérimentalement que α est égal à $\frac{1}{273}$.

En admettant que ce coefficient reste constant, on arrive facilement à la notion de ce qu'on appelle *la température absolue*. Considérons un certain volume de gaz V à la température de 0° centigrade et faisons baisser la température jusqu'à — 273° au-dessous de 0. D'après la loi de Gay-Lussac son volume deviendra

$$V' = V - V\alpha t,$$

ou bien, en remplaçant α et t par leurs valeurs

$$V' = V(1 - \frac{1}{273} \times 273) = 0.$$

Cette température de — 273° par laquelle les gaz cesseraient pour ainsi dire d'exister est ce qu'on appelle le *O* absolu, et, les températures comptées à partir de cette limite prennent le nom de *températures absolues*. Dans le courant de cet ouvrage nous désignerons toujours les températures comptées sur cette base par des grandes lettres, tandis que nous réserverons les petites lettres pour désigner les températures centigrades.

On a du reste la relation :

$$T = t + 273$$

qui relie les températures absolues aux températures centigrades.

En combinant les lois de Bayle et de Gay-Lussac on obtient une formule qui permet de rendre compte d'une variation simultanée de la pression et de la température.

Prenons, pour fixer les idées, un volume v_0 de gaz à la pression p_0 et sous la température t_0, et désignons par v_1 son volume sous une pression p_1 et à une température t_1.

Si nous considérons la variation de température seule en supposant la pression p_0 constante, nous aurons, d'après la loi de Gay-Lussac :

$$(1) \qquad v' = v_0 \left[1 + \alpha(t_1 - t_0)\right] \quad (p_0, v', t_1).$$

Si l'on fait varier maintenant la pression sous la température constante t_1 la loi de Bayle donne la relation

$$(2) \qquad v_1 = \frac{v' p_0}{p_1}.$$

En combinant (1) et (2) on a finalement

$$p_1 v_1 = v_0 p_0 \left[1 + \alpha(t_1 - t_0)\right].$$

En supposant que $t_0 = 0°$, l'équation prendra la forme

$$(3) \qquad p_1 v_1 = v_0 p_0 (1 + \alpha t_1),$$

relation fondamentale qui relie la pression, le volume et la température dans le cas d'un gaz parfait.

Si, en maintenant une température constante, on fait varier la pression, le volume changera, et la suite des

transformations pourra être représentée par une courbe hyperbolique. Cette courbe prend le nom d'isotherme. A chaque température correspond une isotherme différente, ainsi que le représente la Fig. 1.

Les choses ne se passeront plus de même si un certain volume de gaz se trouve enfermé dans une enveloppe imperméable à la chaleur. En faisant varier le volume du gaz, on fait varier en même temps la pression et la température, et la couche que l'on obtiendra en portant les pressions en ordonnées et les volumes en abcisses prendra le nom d'*adiabatique* ou d'*isentropique*, c'est-à-dire d'entropie constante.

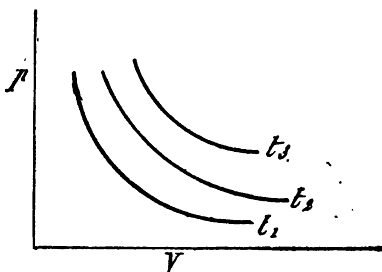


Fig. 1.

Qu'est-ce que l'entropie d'un gaz?

Il est assez difficile d'en donner la définition sans recourir à de longs calculs. Nous dirons cependant que *l'entropie* joue le même rôle par rapport à la chaleur que le poids d'un corps par rapport à *l'énergie gravifique*. Considérons, par exemple, un poids de P kg situé à une hauteur de H mètres; l'énergie gravifique que pourra fournir ce corps en tombant sera représentée par $E = P \times H$ kilogrammètres, et cette énergie diminuera de $\frac{E}{H} = P^{\text{kgm}}$ par mètre de chute.

Le poids d'un corps mesure donc la diminution d'énergie gravifique par mètre de chute. Par analogie, on peut

appeler *poids thermique* la diminution d'énergie thermique par degré de chute de température, la température jouant un rôle analogue à celui de la hauteur, c'est-à-dire représentant l'intensité de la force. Si, par conséquent, un gaz a une énergie de E ou de (AE) calories en vertu de sa température absolue T, ce corps perdra évidemment une énergie égale à $\frac{AE}{T}$ par degré de chute de température. On pourrait donc appeler ce quotient $\frac{AE}{T}$ le *poids thermique* du gaz considéré. Ce quotient restera constant tant que l'on n'ajoutera ou que l'on ne retranchera pas de chaleur au gaz.

Le poids thermique n'est autre que l'*entropie*, d'où le nom de lignes isotropiques à la courbe représentant les transformations qui s'effectuent sans gain ni perte de chaleur.

Si l'on fournit à un gaz une quantité de chaleur dq à la température T, on augmente son entropie ou poids thermique de $\frac{dq}{T}$. En fournissant de la chaleur, si on laisse monter la température de t_1 à t_2, l'augmentation de l'entropie sera représentée par la fonction

$$\int_{t_1}^{t_2} \frac{dq}{T}.$$

La Fig. 2 représente une série de lignes isentropiques coupant des lignes isothermes.

A l'exception des moteurs électriques, tous ceux que nous aurons à examiner dans la suite seront actionnés

par l'intermédiaire d'un fluide élastique, gaz ou vapeur. En suivant un certain ordre de transformations, que l'on appelle cycle, ces gaz, en agissant dans un cylindre, communiquent au piston de l'énergie dynamique qui pourra être recueillie sur l'arbre. Au point de vue de l'étude théorique des moteurs que nous aurons à considérer, nous serons toujours obligés de ramener le cycle parcouru par les gaz à une succession de lignes iso-

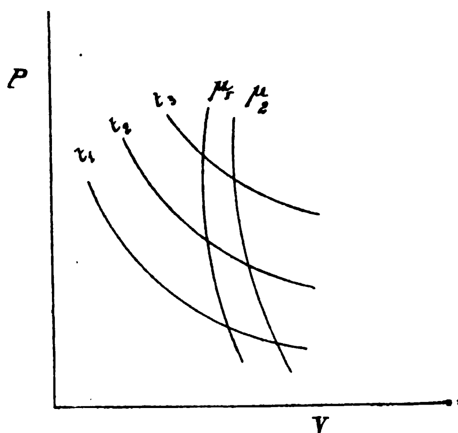


Fig. 2.

thermes et adiabatiques, bien qu'en réalité il n'en soit pas ainsi. Il est impossible, en effet, d'obtenir dans un moteur une transformation à température absolument constante ; il faudrait pour cela une source de chaleur infiniment grande.

Il est également impossible d'avoir un cylindre absolument imperméable à la chaleur, malgré tous les re-

vêtements calorifuges dont on puisse disposer. On n'a donc jamais à faire à une transformation absolument adiabatique.

Comme, en général, on ne peut tenir compte de toutes les conditions qui modifient le cycle d'un moteur, l'on se contente pour en prévoir la puissance de calculer celle-ci comme si toutes les conditions théoriques étaient remplies et l'on affecte le résultat d'un certain coefficient de rendement que la pratique a sanctionné pour le genre de moteur considéré.

Nous allons donc étudier de plus près les transformations isothermiques et adiabatiques pour nous rendre compte du travail extérieur que ces transformations peuvent fournir pour une dépense donnée de chaleur et une certaine chute de température.

Travail extérieur fourni par une transformation isothermique. Chaleur absorbée. — Si nous désignons par U l'énergie contenue dans un kilog de gaz, énergie qui se manifeste à nos sens par ce que nous appelons la température, par Q la chaleur emmagasinée dans ce gaz, et par W le travail extérieur, nous aurons la relation fondamentale :

$$dQ = dU + dW.$$

Cette équation signifie simplement que tout gain ou perte de chaleur est accompagné d'une variation de l'énergie calorifique du gaz et, dans certains cas, d'un travail extérieur positif ou négatif, la somme de ces deux variations étant égale à dQ.

Or, l'énergie U d'un gaz dépend de sa température seule, exactement de la même manière que l'énergie

gravifique d'un corps dépend de la hauteur à laquelle il se trouve. On peut donc écrire

$$U = f(T),$$

relation qui a été démontrée par les expériences de Joule et qui, du reste, porte son nom.

Il s'en suit donc que toute la chaleur fournie pendant une transformation isothermique n'augmente pas l'énergie U d'un gaz, puisque par définition on opère à température constante. L'énergie calorifique servira uniquement à effectuer le travail extérieur que comporte l'opération.

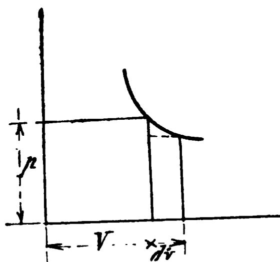


Fig. 3.

Pour une variation infiniment petite du volume (Fig. 3), le travail extérieur sera représenté par

$$dW = pdv,$$

et le travail total d'une détente isothermique de p_0 à une p_1 sera l'intégrale de la différentielle ci-dessus.

On a donc

$$W = \int_{v_0}^{v_1} pdv;$$

et comme

$$p = \frac{p_0 v_0}{v}$$

l'intégrale deviendra

$$W = \int_{v_0}^{v_1} \frac{p_0 v_0}{v} dv = p_0 v_0 \int_{v_0}^{v_1} \frac{dv}{v};$$

on a donc

$$W = p_0 v_0 \log \text{nep} \frac{v_1}{v_0}.$$

En désignant par Q la chaleur qu'il aura fallu fournir pour maintenir la température constante, on aura :

$$(4) \qquad Q = A.p_0 v_0 \log \text{nep} \frac{v_1}{v_0},$$

équation dans laquelle $A = \frac{1}{E} = \frac{1}{425}$. E est ce que l'on appelle l'*équivalent mécanique de la chaleur ;* c'est le nombre de kilogrammètres qui correspondent à une calorie. L'expression précédente donne donc la chaleur nécessaire et le travail fourni par une détente isothermique.

Travail effectué pendant une détente adiabatique. — Une opération adiabatique doit, d'après sa définition, se faire sans gain ni perte de chaleur, ce qui conduit à poser

$$(4) \qquad dQ = O.$$

Si du point 1 d'une courbe adiabatique (Fig. 4) nous détendons les gaz jusqu'en 2, le travail extérieur représenté par la surface $A12B$, sera égal à la diminution de l'énergie interne du gaz.

Reprenons l'équation (4) et remplaçons dQ par sa valeur :

$$dQ = dU + dW = 0;$$

ou bien

$$dU + Apdv = 0,$$

(5) $$\left(\frac{dU}{dp}\right) dp + \left(\frac{dU}{dv} + Ap\right) dv = 0,$$

Or, si nous supposons le volume d'un gaz constant, une variation de pression sera accompagnée d'une variation de chaleur interne égale à

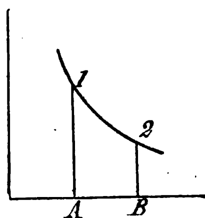


Fig. 4.

$$C_v dt = \frac{dU}{dp} dp,$$

C_v désignant *la chaleur spécifique du gaz à volume constant.*

De même si nous supposons la pression constante, nous aurons :

$$\left(\frac{dU}{dv} + Ap\right) dv = C_p dt,$$

C_p étant ce que l'on appelle *la chaleur spécifique du gaz à pression constante.*

On peut considérer les chaleurs spécifiques C_p et C_v comme à peu près indépendantes de la température. Le rapport de C_p à C_v est généralement désigné par γ.

En substituant dans l'équation (5) les valeurs ci-dessus trouvées pour

$$\frac{dU}{dp} dp \quad \text{et} \quad \left(\frac{dU}{dv} + Ap\right) dv,$$

on aura :

$$(6) \qquad C_v \frac{dt}{dp} dp + C_v \frac{dt}{dv} dv = O.$$

Mais, nous savons que l'énergie d'un gaz représenté par le produit de sa pression par son volume, est fonction de sa température seule; on peut donc poser

$$pv = RT,$$

R étant une constante pour tous les gaz.

On en déduit que

$$\frac{dt}{dp} = \frac{v}{R} \quad \text{et} \quad \frac{dt}{dv} = \frac{p}{R}.$$

En remplaçant l'équation (6) devient :

$$(7) \qquad C_v \frac{v}{R} dp + C_p \frac{p}{R} dv = O.$$

En divisant les deux membres par $C_v \times \frac{pv}{R}$ on a :

$$\frac{dp}{p} + \gamma \frac{dv}{v} = O.$$

Équation dont l'intégrale est :

$$\log \text{nep} \frac{p_2}{p_1} + \gamma \log \text{nep} \frac{v_2}{v_1} = O$$

ou encore :

$$(8) \qquad p_2 v_2{}^\gamma = p_1 v_1{}^\gamma = \text{const.}$$

Telle est l'équation générale d'une détente adiabatique; elle permet de calculer le travail effectué pendant cette détente comme suit :

$$W = \int_1^2 pdv;$$

or,

$$p_2 = p_1 v_1{}^\gamma \frac{1}{v_2{}^\gamma}$$

d'où :

$$W = p_1 v_1{}^\gamma \int_1^2 v^{-\gamma}\, dv.$$

En intégrant on obtient

$$(9) \qquad W = \frac{p_1 v_1{}^\gamma}{1-\gamma}\left(v_2{}^{1-\gamma} - v_1{}^{1-\gamma}\right).$$

Telle est l'expression du travail théoriquement fourni par la détente adiabatique.

Si nous représentons par U_1 et U_2 l'énergie interne du gaz aux points 1 et 2, la différence U_1, U_2 sera, d'après ce que nous avons dit, égale au travail extérieur; on aura donc également

$$(10) \quad U_1 - U_2 = A.\, W = A \frac{p_1 v_1{}^\gamma}{1-\gamma}\left(v_2{}^{1-\gamma} - v_1{}^{1-\gamma}\right).$$

Cycle de Carnot. — Parmi les divers cycles ou suites de transformations que peut suivre un gaz, il en est un qui joue un rôle important, parce qu'en pratique c'est celui-là que l'on s'attache à réaliser dans les machines à vapeur. Il est formé de deux lignes isothermes et de deux lignes adiabatiques (Fig. 5).

La ligne AB représente une détente isothermique à la température t_2.

A partir d'un certain point B, on enlève toute communication de chaleur au cylindre dans lequel évoluent les gaz, et de B jusqu'en un point C correspondant à une température t_1 on opère adiabatiquement.

Du point C on commence à comprimer les gaz en les maintenant à la température t_1. C'est une compression isothermique, que l'on doit arrêter en un point D de façon à ce qu'adiabatiquement on puisse revenir au point A.

De D en A nous opérons donc par compression adiabatique.

Telles sont les caractéristiques des quatre périodes qui constituent le cycle de Carnot.

Les relations que nous avons établies pour les détentes adiabatiques et isothermiques nous permettraient d'analyser complètement ce qui se passe dans un cycle de Carnot et d'établir certains théorèmes qui sont la base de la thermodynamique actuelle. Nous ne voulons cependant pas entrer davantage dans l'étude de ce cycle, cela nous entraînerait trop loin pour l'introduction sommaire que nous voulons présenter au lecteur, d'autant plus qu'en pratique les cycles réalisés étant tout différents, nous n'aurions pas grand avantage à en tirer au point de vue de l'étude des moteurs que nous nous proposons d'examiner.

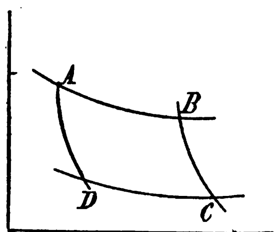


Fig. 5.

Le théorème principal que l'ont est amené à établir et qui porte le nom de *théorème de Carnot*, s'énonce ainsi : *Pour tous les corps fonctionnant suivant des cycles de Carnot entre les mêmes limites de température, le rapport de la quantité de la chaleur transformée en travail à la quantité de chaleur prise à la source supérieure est constant.*

Si nous désignons par Q_2 la quantité de chaleur puisée sur l'isotherme t_2, et par Q_1 la chaleur cédée sur l'isotherme t_1, nous pouvons donc toujours poser

$$(11) \qquad \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} = \frac{Q'_2 - Q'_1}{Q'_2} = \text{const.}$$

Mais, si d'autre part l'on pose :

$$\frac{dQ}{T} = d\mu$$

on trouve que :

$$Q = \int T d\mu,$$

d'où

$$Q = T(\mu_2 - \mu_0);$$

de sorte qu'on obtient

$$Q_2 = T_2(\mu_2 - \mu_0)$$

et

$$Q_1 = T_1(\mu_2 - \mu_1);$$

et la relation (11) prend également la forme :

$$(13) \qquad \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2}.$$

Le rapport $\frac{Q_2 - Q_1}{Q_2}$ représente le *rendement* du cycle ; c'est le rapport de la chaleur convertie en travail à la chaleur fournie par la source supérieure. On voit donc aisément que le rendement sera d'autant meilleur que T_1 sera plus petit et T_2 plus grand [1].

---

[1] Voir pour plus de détails, la *Théorie mécanique de la chaleur* de CHARLES BRIOT.

Cycle réalisé dans les moteurs à vapeur. — Tout le monde connaît aujourd'hui le mode de fonctionnement d'une machine à vapeur. L'eau introduite dans la chaudière est d'abord portée à la température de vaporisation correspondant à la pression de la vapeur que l'on veut faire travailler; elle est ensuite vaporisée et passe dans le cylindre où elle travaille à pleine pression pendant une certaine fraction de la course du piston. A partir d'un certain moment la vapeur n'est plus admise dans le cylindre et la vapeur qu'y s'y trouve se détend jusqu'à ce que sa pression soit tombée à $1\frac{1}{4}$ atmosphère environ, lorsque l'échappement se fait à la pression atmosphérique. Si l'on se sert d'un condenseur, la pression d'échappement peut tomber à $\frac{1}{4}$ d'atmosphère et même moins. C'est pendant la course rétrograde du piston que se fait l'échappement, la pression qui s'exerce encore sur le piston s'appelle *contre-pression*. L'échappement cesse en un point *D* voisin de la fin de la course ; à partir de ce moment les gaz sont comprimés jusqu'à une pression voisine de la pression d'admission.

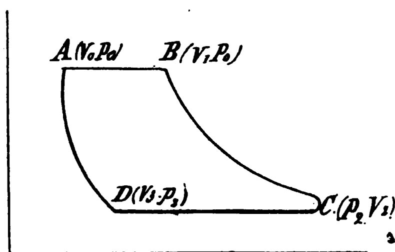


Fig. 6.

Le volume qu'occupe la vapeur au point A (Fig. 6), prend le nom d'*espace mort*. Ainsi qu'il est aisé de s'en rendre compte, le cycle parcouru par la vapeur dans nos

machines actuelles est bien loin de ressembler au cycle idéal de Carnot.

La première opération isotherme de A en B s'effectue à pression constante, de sorte que le travail extérieur fourni pendant cette période est représenté par

$$P_0 \int_{v_0}^{v_1} dv = P_0(V_1 - V_0)$$

V_0 est ce que nous avons désigné par espace mort.

Pendant la période de détente de la vapeur de B en C, il y a rayonnement de la chaleur emmagasinée par la vapeur, à travers les parois du cylindre. L'opération n'est donc pas adiabatique. En outre, une certaine quantité d'eau condensée sur les parois froides du cylindre pendant l'admission se vaporise pendant la détente, ce qui complique encore son étude.

Tous ces phénomènes modifient absolument le caractère de la détente de telle sorte, qu'au lieu de calculer le travail produit comme nous l'avons fait dans le cas d'une détente adiabatique, on préfère pratiquement considérer la détente comme isothermique, ce qui amène à appliquer la formule (3) (voir page 10)

$$W = P_0 V_1 \log \text{nep} \frac{V_2}{V_1}.$$

De C en D s'effectue l'échappement, et le travail négatif correspondant à cette phase du cycle s'exprime par

$$P_2 \int_{v_2}^{v_3} dv = - P_2(V_2 - V_3).$$

Le travail négatif nécessaire à la compression se détermine par la même formule que nous avons donnée plus haut pour la détente.

Dans le chapitre intitulé *Théorie générale des moteurs* nous examinerons d'une manière plus approfondie le fonctionnement des moteurs à vapeurs et nous indiquerons comment on calcule leurs dimensions principales pour obtenir une puissance donnée.

Pour le moment, nous nous bornerons à dire que son rendement est bien inférieur à celui du cycle idéal de Carnot. Voici du reste ce que dit à ce sujet M. Dwelshauvers-Déry, le savant professeur de l'Université de Liège :

« Des ruptures de cycle inévitable dans les machines réelles, réduisent de beaucoup la fraction de chaleur utilisable; cette réduction atteint 13 $^0/_0$ dans la meilleure machine imaginable, c'est-à-dire plus du tiers de la chaleur idéalement disponible.

« Le maximun pratique de chaleur disponible pour le travail est environ de 20 $^0/_0$ de la chaleur dépensée, et toutes les améliorations que l'on peut imaginer n'écarteront que de fort peu cette limite qui correspond à une consommation de 4^{kg},849 d'eau par cheval-heure à raison de 655^{cal} par kilogramme, ce qui est la chaleur totale de six atmosphères de tension absolue.

« Il n'y a pas lieu d'espérer que l'on abaissera jamais la consommation de vapeur jusqu'à 5 kg par cheval-heure; d'autant moins que l'action des parois vient troubler les actions que nous avons analysées [1] et qu'il

(1) Dwelshauvers-Déry. — *Étude calorimétrique de la machine à vapeur.*

en résulte des pertes qu'on ne saura jamais entièrement éviter. Cette action des parois est tellement importante que dans certaines machines, munies même de bons condenseurs, la fraction de chaleur représentée par le travail indiqué n'est qu'uue petite partie, de 20 $^0/_0$ du maximum ».

Nous ajouterons qu'à côté des pertes de chaleur, c'est-à-dire de travail, dans le cylindre même, il y a celles inhérentes à la chaudière qui s'élèvent toujours à 40 $^0/_0$ au moins.

Dans nos meilleures machines actuelles, la quantité de chaleur transformée en travail dans le moteur atteint 8 $^0/_0$ de la chaleur totale, et comme le rendement de la chaudière est au maximum de 60 $^0/_0$, nos machines n'utilisent donc que

$$8{,}08 \times 0{,}6 = 0{,}048$$

ou 4,8 $^0/_0$ de la chaleur que dégage le charbon en brûlant. Ces chiffres correspondent à une dépense d'environ 8 à 9 kg de vapeur par cheval et par heure sous une pression de 7 atmosphères, ce qui amène à brûler 900 grammes de charbon avec une bonne chaudière.

Pour terminer ce chapitre nous dirons quelques mots des résistances que rencontre un véhicule à se déplacer sur route ou sur voie ferrée.

TRACTION D'UN VÉHICULE SUR VOIE FERRÉE ET SUR ROUTE

Dans les deux cas, la résistance offerte à la traction dépend un peu du diamètre des tourillons des essieux,

bien qu'en général on adopte un coefficient de traction proportionnel au poids seul du véhicule.

Pour calculer un tourillon il faut tenir compte de deux conditions essentielles :

1° La pression qu'il supporte ne doit pas occasionner d'échauffement excessif, ce qui amène à adopter une certaine pression par centimètre carré, fixée par l'expérience. Si (Fig. 7) nous désignons par l la longueur et par d le diamètre d'un tourillon, nous aurons la relation

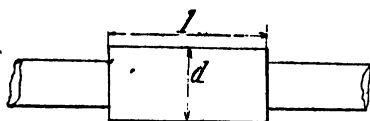


Fig. 7.

$$(A) \qquad ld = \frac{P}{p}.$$

P est la pression totale supportée par le tourillon et p un coefficient proportionnel à la pression admissible par centimètre carré que généralement l'on peut faire égale à 20.

2° La section du tourillon doit être telle qu'il n'y ait pas de danger de rupture. Il faudra donc toujours avoir :

$$(B) \qquad \frac{\pi d^2}{32} = \frac{P\frac{l}{2}}{R'}$$

R' est la charge par centimètre carré que le métal employé peut supporter sans danger. Dans le cas de locomotion automobile, on fait $R' = 300^{kg}$ par centimètre carré lorsqu'on se sert d'essieux en fer.

Les relations (A) et (B) permettent de déterminer les dimensions l et d du tourillon.

Il est évident au premier abord que plus d sera grand, plus le coefficient de traction sera élevé, puisque le tra-

vail de frottement entre le pallier de soutien et le tourillon croîtra, toutes choses égales du reste, avec la distance de la surface frottante à l'axe de rotation. Ce coefficient de traction varie également avec le diamètre des roues motrices et, à ce point de vue il est aisé de voir qu'on aurait avantage à forcer leur diamètre.

Sur voie ferrée le coefficient de traction est d'environ $\frac{1}{100}$ du poids transporté dans le cas de bandages à bourrelet; il descend à $\frac{1}{147}$ de ce poids si l'on se sert de bandages plats. C'est sur ces données que l'on calcule l'effort de traction à développer sans faire entrer en ligne de compte les dimensions des roues et des tourillons.

Si nous désignons par P le poids d'un véhicule, par f le coefficient de traction et par i la pente par mètre, l'effort total de traction sera :

$$E = P(f \pm i), \tag{14}$$

le signe — se rapportant à une pente. Le travail pour une longueur l parcourue sur une voie uniforme sera donc :

$$W = Pl(f \pm i) \tag{15}$$

et la puissance requise, en exprimant par v la vitesse en mètres par seconde

$$W' = Pv(f \pm i) \text{ kilogrammètres,}$$

ou

$$W' = \frac{Pv(f \pm i)}{75} \text{ chevaux.} \tag{16}$$

M. Reckenzaun a observé que dans les courbes de 15 mètres de rayon, l'effort de traction est doublé et qu'il est triplé dans celles de 10 mètres de rayon.

Au démarrage, l'effort de traction est souvent quadruplé.

L'adhérence d'un véhicule sur voie ferrée varie du cinquième au dixième du poids porté par les roues motrices. Il s'en suit donc que si l'effort au démarrage est trop considérable les roues pourront patiner sans faire avancer le véhicule.

Si nous désignons par p le poids porté par l'essieu moteur, il faudra donc toujours avoir la relation :

$$p . f' = P(f + i), \tag{17}$$

f' désigne le coefficient d'adhérence qui peut varier de 0,25 à 0,10 ; i est ici la rampe maximum.

Cette formule permet de prévoir le poids minimum à faire supporter aux roues motrices dans le cas d'un véhicule seul ou tirant une charge derrière lui. Dans ce dernier cas, P représente le poids du tracteur et de sa remorque.

Sur route la question est plus délicate et plus difficile à traiter. On admet généralement un coefficient de traction égal à 0,06.

Ce chiffre peut varier considérablement suivant l'état de la route et le bandage employé. Un fait presque certain, c'est que l'on peut gagner facilement 30 à 40 % sur l'effort de traction en munissant les roues d'une voiture automobile de bandages pneumatiques. Dans ce cas, le coefficient de traction deviendrait donc 0,036. L'usage du moyeu à bille peut encore réduire ce coefficient de telle sorte qu'il peut devenir inférieur sur une bonne route à celui que l'on aurait sur voie ferrée,

Nous dirons donc, qu'à notre avis, on devra s'efforcer,

pour la locomotion de plaisance sur route, à réduire autant que possible le poids du véhicule de façon à pouvoir appliquer à sa construction tous les perfectionnements que la vélocipédie a su rendre pratiques.

Dans l'évaluation de l'effort de traction, nous n'avons pas tenu compte de la résistance due au déplacement de l'air. Cette résistance n'a pas grande influence sur les véhicules lourds et puissants marchant à petite allure ; mais, il n'en est plus de même si l'on envisage le cas d'une voiture légère devant fournir des vitesses élevées. Le tableau suivant permet de se rendre compte de la résistance offerte par le vent : cette résistance croît à peu près comme le carré de la vitesse de déplacement.

Désignation des vents		Vitesse en mètres par seconde	Pression en kilogrammes par mètre carré
Vent à peine sensible		1	0,14
Brise légère		2	0,54
Vent frais ou brise		4	2,17
Vent bien frais	tendant bien les voiles	6	4,87
	le plus convenable aux moulins	7	6,64
	forte brise	8	8,67
	convenable p^r la marche en mer	9	10,97
Vent grand frais	très forte brise	10	13,54
	faisant serrer les h^tes voiles	12	19,50
Vent très fort		15	30,47
Vent impétueux		20	54,16
Tempête		24	78
Tempête violente		30	122
Ouragan		36	177
—		40	186
Grand ouragan renversant les édifices		45	277

Supposons, par exemple, qu'un véhicule ayant en projection verticale une surface de 3 mètres carrés, se déplace avec une vitesse de 20 kilomètres à l'heure ; s'il n'y a absolument pas de vent, la résistance qu'offrira l'air à son déplacement sera de : $3^{kg},2 \times 3^{m^2} = 9^{kg},6$ puisque, d'après la table précédente, une vitesse de 20 kilomètres à l'heure ou de $5^{m},5$ à la seconde correspond à une pression de $3^{kg},2$ par mètre carré.

La puissance supplémentaire que la machine devra fournir sera donc de 9 à 10 kilogrammètres pour maintenir la vitesse de la voiture. L'effort de traction se trouve augmenté de 9 à 10 kilogrammètres. Si le véhicule se déplaçait contre une forte brise représentant une vitesse de 10 mètres par seconde l'effort de traction serait augmenté de $31^{kg} \times 3 = 93^{kg}$, ce qui correspond à plus d'un cheval en excès de la puissance nécessaire calculée sans tenir compte de la résistance du vent.

On voit aisément combien on aura avantage à faire des voitures n'offrant pas une trop grande surface normalement à leur axe principal ; dans certains cas, il sera peut-être recommandable de donner à la caisse de la voiture une forme anguleuse comme celle que l'on donne à la proue d'un navire. Plus on cherchera à atteindre des vitesses élevées, plus cette question de la résistance de l'air jouera un rôle important.

Si nous avons insisté un peu sur ce point, c'est parce que nous prévoyons un très grand avenir aux voitures peu encombrantes et légères au point de vue de la locomotion automobile sur route. Elles donneront à tous les mêmes avantages et les mêmes agréments que procure la bicyclette aux adeptes de la vélocipédie. Ce n'est certes

pas banal que de pouvoir disposer d'une monture qui ne se fatigue et ne nous fatigue pas, de pouvoir parcourir à son gré les routes les plus pittoresques, les sites les plus charmants, et de pouvoir s'arrêter où bon nous semble pour repartir ensuite à la recherche de pays nouveaux. C'est donc surtout au point de vue de l'agrément, du tourisme, que nous prévoyons un avenir aux voitures automobiles. Les gros tracteurs ne nous paraissent pas répondre à un besoin réel et souvent, croyons-nous, il sera plus avantageux de remplacer le tracteur sur route destiné à un service entre deux villes ou villages par une petite voie ferrée, genre Decauville.

Nous terminerons ici ces quelques notions préliminaires en nous réservant de revenir avec plus de détails sur les points dont nous avons parlé dans le courant de ce chapitre, lorsque nous examinerons la théorie générale des moteurs.

CHAPITRE II

GÉNÉRALITÉS ET HISTORIQUE

Il est assez difficile de fixer exactement l'âge de la locomotive automobile. En remontant les temps jusqu'au Égyptiens, nous trouvons dans leur histoire des documents qui nous montrent un char automobile mu par la réaction de la vapeur en s'échappant dans l'air. Qui sait s'ils n'ont pas fait mieux, et si ce n'est pas à une certaine forme de machine à vapeur qu'ils ont demandé la puissance nécessaire pour mener à bonne fin leurs travaux gigantesques ? Quoi qu'il en soit, ce n'est que depuis Denis Papin, que l'on se rendit compte de la puissance que pouvait fournir la vapeur d'eau sous pression, et, la première voiture automobile dont les temps fassent mention remonte à l'année 1771. Elle est due à l'officier d'artillerie Cugnot dont on peut dire qu'il prévit l'avenir qui attendait ce genre de locomotion. A ce moment il s'agissait d'un véhicule rudimentaire marchant, cahin-caha, à travers les fondrières du Paris d'alors à raison de 4 kilomètres à l'heure. Ce vénérable ancêtre a été pieusement conservé et on peut le voir au Conservatoire national des Arts-et-Métiers.

Presque à la même époque Worcester créa une machine à élever l'eau. Newcomen fit mieux, car il mit en

marche la première machine d'épuisement digne de ce nom ; mais c'est à Watt qu'est due la machine à vapeur proprement dite. C'est sans contredit un des plus beaux génies des temps modernes, et l'on doit reconnaître qu'il a créé la machine à vapeur de toutes pièces, car, ses prédécesseurs ne lui avaient fourni que des modèles informes, tandis qu'il légua à notre siècle un véritable chef-d'œuvre, parfait sous tous les rapports, et dont nous n'avons plus eu qu'à modifier les détails. Watt inventa le double effet, le condenseur, la pompe à air, le régulateur et fit la détente. Il fit brusquement tomber la consommation de charbon de 10 kilogrammes à 4 kilogrammes par cheval-heure.

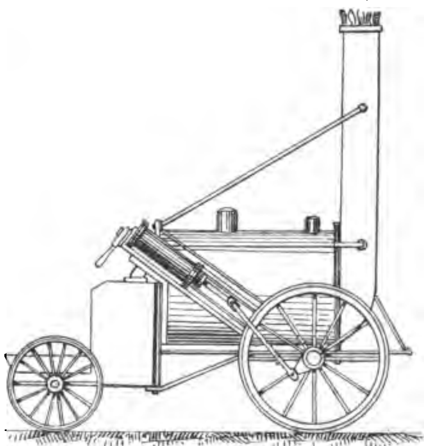


Fig. 8.

En 1829, Robert Stephenson, le pionnier de la locomotive automobile, créa la première locomotive à vapeur digne de ce nom, la « Rocket ». La Fig. 8 montre ce tracteur qui fit un service régulier entre Manchester et Londres. Ajoutons cependant, pour être juste, qu'en 1800 et 1808 Trevithick, construisit deux modèles différents de locomotives, la première destinée à se mouvoir sur route et la seconde sur rails plats. Ces deux

modèles construits avant la Rocket marchaient assez bien, mais n'atteignaient pas des vitesses de 40 kilomètres à l'heure comme cette dernière. A partir de cette époque, la locomotive sur rails fit des progrès gigantesques, de sorte que quarante ans plus tard l'Europe entière était sillonnée par des lignes de chemin de fer.

A part de rares essais qui n'aboutirent pas, la locomotion sur route fut absolument abandonnée. Les moteurs et surtout les générateurs à vapeur étaient encore trop lourds, trop encombrants et trop dangereux pour permettre de résoudre d'une façon pratique le grand problème de la locomotion automobile sur route.

La vélocipédie a donné un regain d'actualité à la question et de nombreux inventeurs ont cherché à remplacer le moteur animé de la bicyclette et du tricycle par une machine.

MM. de Dion et Bouton ont, les premiers, croyons-nous, cherché à résoudre le problème à l'aide du moteur à vapeur. Leurs premiers essais datent de 1882 ; mais, dès le début ils furent arrêtés par une grosse difficulté : le *générateur*.

Avant toute chose MM. de Dion et Bouton durent donc créer la chaudière, et ce ne fut qu'après deux années de recherches qu'ils virent leurs efforts couronnés de succès. Le générateur qui porte leur nom, grâce à son petit volume et à sa grande puissance de vaporisation, fut employé par la Marine Française à bord de ses torpilleurs.

La première application en fut faite sur un quadricycle à deux places, puis sur un tricycle *Tandem* dont la seconde place fut supprimée et remplacée par le moteur et le générateur d'un poids total de 50 kilogrammes. La

machine, d'une puissance d'un cheval-vapeur, permit d'atteindre une vitesse de 30 kilomètres à l'heure, ce qui aujourd'hui encore constitue un résultat fort satisfaisant. En l'année 1885 MM. de Dion et Bouton construisirent un tricycle qui permit de parcourir le kilomètre en 1 minute. Voilà donc la première voiture automobile légère, rapide, d'une conduite facile et sûre qui ait circulé sur nos routes.

Trois ans plus tard, M. Serpollet appliqua son générateur *sans eau* à un tricycle et obtint un résultat des plus satisfaisants. Nous reviendrons plus loin sur ce générateur. Nous nous contenterons pour le moment de rappeler que c'est le seul système à vapeur qui soit autorisé dans l'intérieur de Paris. Déjà plusieurs lignes de tramway ont adopté le générateur Serpollet, ce qui leur a permis de réaliser une notable économie sur la traction animale.

Mais, dès 1860, Lenoir avait présenté un moteur à gaz pouvant fonctionner d'une façon régulière en s'inspirant des idées de Beau de Rochas, le vrai créateur de cette classe nouvelle de moteurs qui aujourd'hui semble être appelé à un si grand avenir dans la locomotion automobile. Depuis cette époque il s'est perfectionné et la course des voitures automobiles de Paris à Bordeaux et retour (1895) le place au premier rang des systèmes à préconiser pour cette application spéciale.

La voiture automobile à pétrole date à peine d'un ou deux ans. En 1894 elle n'était encore que mal représentée au concours du *Petit Journal* organisé par M. Pierre Giffard où les voitures à vapeur ont certainement obtenu le plus de succès. C'est l'allemand Daimler qui nous a

doté du premier moteur à pétrole véritablement pratique pour la locomotion automobile et aujourd'hui encore c'est son moteur qui tient la première place. MM. Panhard et Levassor, et la maison Peugeot, les hardis constructeurs qui, les premiers, ont compris l'avenir de *Petrolette*, ont adopté et conservent toujours les moteurs Daimler pour actionner leurs voitures. L'histoire ancienne des voitures à pétrole est donc celle d'aujourd'hui, et les progrès rapides effectués en un an à peine permettent de fonder les plus belles espérances sur ce rival de la vapeur.

La course de Paris-Bordeaux de l'année dernière nous en a donné la preuve; le pétrole y a remporté une brillante victoire en fournissant les 8 premiers arrivés de cette grande course. Rappelons à ce sujet que le comité organisateur de la course qui a si bien rempli sa mission avait comme secrétaire général M. Yves Guédon qui, après la course, a quitté ses fonctions de secrétaire pour se préparer avec M. Clément, le grand constructeur français que l'on connaît, à la course de Paris-Marseille et retour qui aura lieu en octobre cette année. Sous la haute direction de M. Guédon, les voitures automobiles qui s'aligneront pour M. Clément pourraient bien devenir des concurrents dangereux pour les automobiles actionnées par le Daimler. Nous applaudirions de grand cœur à cette victoire toute française.

Au point de vue de la traction des tramways, à côté des voitures à vapeur, viennent se ranger encore les voitures électriques et à air comprimé.

L'emploi de ce dernier intermédiaire de l'énergie fournie par la machine à vapeur date d'hier à peine.

En effet, si on laisse de côté les expériences sans aucun résultat pratique faites, en 1840, par deux ingénieurs français, MM. Andraud et Tessier du Motay, il faut arriver à l'année 1872 pour assister aux premiers travaux de M. Mékarski sur la question. Or, on sait que c'est à cet ingénieur que l'on doit beaucoup de ce qui a été fait jusqu'à ce jour pour l'application de l'air comprimé à la traction des tramways.

C'est le 4 novembre 1872 que M. Mékarski prit, sous le n° 97,072, son brevet pour une machine motrice à l'air comprimé *à pression réglée* ; le 23 juin 1873 il prenait un certificat d'addition à ce brevet pour le réchauffage de l'air par son mélange avec la vapeur d'eau, ce qui complétait son système, tel qu'il fonctionne encore aujourd'hui.

En 1873, M. Mékarski faisait construire une première machine expérimentale qui fonctionnait dès 1874 sur le chemin de fer industriel de la Maltournée desservant les carrières de plâtre de Neuilly-Plaisance.

Simultanément, on construisait au Creuzot une locomotive à air, destinée au percement du tunnel du Saint-Gothard et qui était munie du régulateur de pression de M. Mékarski.

A la fin de 1875 et dans le courant de 1876, des expériences nombreuses furent faites sur une première automobile pour tramways sur la ligne de Courbevoie à l'Étoile ; ces expériences qui avaient eu pour témoins les premières sommités scientifiques de Paris et de la France, eurent un plein succès, et elles valurent à M. Mékarski, la concession des tramways de Nantes. Ces lignes de tramways furent ouvertes à l'exploita-

tion le 13 février 1879 et elles ont toujours fonctionné d'une façon parfaitement régulière et très économique à la fois (le prix du kilomètre-voiture pour les dix dernières années d'exploitation n'est que de 0 fr. 28).

La première ligne à air comprimé construite ensuite fut celle des chemins de fer Nogentais en août 1887 ; le dépôt est installé à l'emplacement même où se trouvaient, en 1874, les appareils d'expérience servant aux premiers essais.

En même temps, M. Mékaski perfectionnait les appareils de compression de l'air, de façon à pouvoir porter la pression finale à un chiffre de plus en plus élevé et à emmagasiner ainsi un poids d'air sans cesse plus grand sous un même volume.

C'est ainsi qu'il arriva à porter cette pression, dans les réservoirs de la voiture de l'Étoile, à 30 kilogrammes par centimètre carré. Comme cet air ne s'employait, dans les cylindres des moteurs, qu'à la pression de 10 kilogrammes on perdait bien le travail nécessaire pour comprimer l'air de 10 à 30 kilogrammes, mais malheureusement le seul moyen que l'on a d'emmagasiner une grande somme d'énergie sous un petit volume, est de porter la pression à un chiffre très élevé. M. Mékarski l'a d'ailleurs augmenté dans toutes ses installations nouvelles, et aujourd'hui l'air est comprimé à une pression de 80 kilogrammes par centimètre carré.

A Paris, sur la ligne du cours de Vincennes à Saint-Augustin, on a prévu 24 automobiles, sur lesquelles 20 sont en service tous les jours, une en réserve et seulement trois en réparation. De ce fait, il y a dans l'achat des voitures automobiles une économie de frais de pre-

mier établissement qui compense en partie le coût des compresseurs, chaudières et appareils de chargement.

Plus encore que l'air comprimé, l'électricité est devenue pendant ces derniers 10 ans un des agents les plus en vogue pour la traction de tramways. Etudiée d'abord en Europe par Siemens et Halske, la traction électrique s'est particulièrement développée aux États-Unis, où elle a rencontré les conditions d'une extension rapide. En moins de trois ans, 130 villes de l'Union ont adopté la traction électrique dont les lignes comprenant un développement total de 3 000 kilomètres de voie. La traction électrique d'ailleurs a presque partout remplacé la traction animale aux États-Unis. En Europe, ce mode de traction a trouvé moins de partisans. Il fallait disposer au-dessus des voies de tramway un conducteur en cuivre de 10 millimètres de diamètre soutenu par des poteaux, ce qui manquait un peu d'esthétique, au dire du moins de nos administrateurs, puisque c'est la seule raison qui les empêcha de faire bénéficier nos grandes villes des avantages de la traction électrique, si souple, si propre et si rapide.

Il y a bien un moyen de supprimer les fils aériens en faisant usage d'*accumulateurs*, mais c'est au grand détriment du rendement général par l'accroissement considérable du poids mort et des pertes d'énergie inhérentes à l'emploi des accumulateurs. Ce système est du reste très employé en Europe où il donne de bon résultats. On a également essayé de résoudre le problème de la locomotion sur route au moyen des accumulateurs, mais jusqu'à présent, les résultats des courageux efforts que l'on a tentés de ce côté ne sont que peu satisfaisants. Parmi ceux

qui ont travaillé à cette question, nous citerons M. Jeantaud qui du reste, a obtenu un succès relatif dans la course de Paris-Bordeaux.

A notre avis, la traction sur route ne deviendra électriquement possible que lorsque l'on aura trouvé un bon générateur d'énergie électrique ; les accumulateurs ne peuvent prétendre à ce titre. Que penserait-on si M. Méckarski préconisait son système pour atteindre le même but ? On trouverait cela tout au moins ridicule, et pourtant, accumuler de l'électricité ne rencontre pas la même opposition bien que les deux systèmes soient absolument analogues ; c'est toujours enmagasiner de l'énergie fournie par une machine à vapeur, que ce soit sous forme d'électricité ou de gaz comprimé. Il est probable même que les accumulateurs d'air se détériorent moins vite que les accumulateurs électriques tout en possédant par unité de poids une capacité au moins aussi grande.

A côté de l'électricité et de l'air comprimé, comme *intermédiaires* il y a encore l'acide *carbonique liquide* qui fit son apparition il y a quelques années. L'entreprise commerciale ne réussit pas et le système est tombé dans l'oubli. Nous laisserons donc de côté dans le courant de notre étude ce système de traction. Nous avons déjà trop à dire sur les applications réellement pratiques de la vapeur, de l'électricité, de l'air comprimé et des essences de pétrole pour pouvoir parler des morts, bien que certains d'entre eux soient peut-être appelés à ressusciter dans un temps plus ou moins long.

CHAPITRE III

THÉORIE GÉNÉRALE DES DIVERS GENRES DE MOTEURS

Moteurs à vapeur

C'est surtout au point de vue de son application à la locomotion sur route, que nous étudierons sommairement le moteur à vapeur. Dans les tracteurs excepté, la puissance requise pour cette application dépasse rarement 4 à 5 chevaux, ce qui rend d'ordinaire inutile l'emploi de la détente multiple et celui du condenseur. C'est donc, en général, réduit à sa plus simple expression que se présentera à nous le moteur. Il se compose essentiellement des organes moteurs et des organes de distribution. Nous commencerons par les premiers, et nous déterminerons quelles sont les dimensions à donner à un moteur pour produire une puissance utile donnée.

CALCUL DES DIMENSIONS D'UNE MACHINE A UN CYLINDRE A DÉTENTE

Considérons la Fig. 9. Le travail produit pendant une double course du piston (aller et retour), est représenté par l'aire $ABEDF$. Nous supposerons la ma-

chine à *simple effet*, c'est-à-dire avec admission de la vapeur d'un seul côté du piston. Dans le cas d'une machine à *double effet*, le travail de la machine est doublé. Nous supposerons également qu'il n'y a pas de compression ainsi que l'indique la figure.

Première période. Pleine admission.

$W_0 =$ travail produit $= ABCO = P_0 V_0$.

$P_0 =$ pression totale sur la face du piston en kilogrammes.

$V_0 =$ volume de la vapeur à la fin de l'admission.

Fig. 9.

Si nous désignons par p_0 la pression de la vapeur à l'admission en kg par centimètre carré, par S la surface du piston et par l_0 le chemin parcouru par le piston, lorsqu'il est arrivé en B, nous aurons :

$$(a) \qquad W_0 = p_0 \,.\, S^2 \,.\, l_0$$

Deuxième période. Détente. — En appliquant la formule (3), on trouve

$$W_1 = \text{travail de détente} = BEHC =$$

$$= P_0 V_0 \,.\, \text{log nep.} \frac{V_e}{V_0}$$

V_c étant le volume engendré par le piston pendant une course. On aura donc

$$(b) \qquad W_1 = p_0 \frac{l_c}{n} S^2 \log \text{nep}\, n,$$

l_c = trajet total du piston
n = *degré de détente* = rapport du volume total au volume engendré à la fin de l'admission.

Troisième période. Échappement.

$$W_2 = FDHO = P_1 V_c$$

$$(c) \qquad W_2 = p_1 \,.\, l_c \,.\, S^2 \,;$$

p_1 représente la contre-pression en kg par centimètre carré agissant sur le piston pendant l'émission des gaz.

Le travail total que peut fournir la machine en une course sera donc :

$$W_t = W_0 + W_1 - W_2 = p_0 S^2 \left[l_0 + \left(\frac{l_c}{n}\right) \log \text{nep}\, n - \frac{p_1}{p_0} l_c \right]$$

$$(17) \qquad W_t = p_0 l_0 S^2 \left[\log \text{nep} \,.\, n \,.\, + 1 - \frac{p_1}{p_0} n \right]$$

Telle est l'expression du travail théoriquement produit; mais, pour tenir compte des imperfections du cycle réellement parcouru par la vapeur et de la perte due à la compression, on multiplie W_t par un certain coefficient expérimental K_a pour obtenir le travail mesuré à l'indicateur.

On a donc

$$W_i = K_a W_t.$$

Le puissance disponible sur la poulie sera égale au travail indiqué, moins les diverses pertes par frottements mécaniques. On tient compte de ces pertes en multipliant W_i par un autre coefficient K_0, de sorte qu'on obtient

$$W_u = K_0 K_a W_t = K_u W_t$$

équation dans laquelle $K_u = K_0 K_a$.

On a donc finalement

$$(18) \qquad W_u = K_u \cdot p_0 l_0 S^2 \left[1 + \log \text{nep} \cdot n - \frac{p_1 n}{p_0}\right].$$

Le degré de détente varie généralement de 5 à 6, et la contre-pression p_1 de un demi à trois quarts d'atmosphère pour les machines munies d'un *condenseur*.

On ne dépassera pas, en général, une valeur de 6 à 7 atmosphères pour p_0.

K_u varie suivant la puissance de la machine. Le tableau ci-dessous renferme les valeurs généralement adoptées pour K_u.

Puissance en chevaux	Sans détente		Avec détente	
	Machines sans condenseur *Ku*	Machines à condenseur *Ku*	Machines sans condenseur *Ku*	Machines à condenseur *Ku*
4,8	0,60	0,55	0,45	0,40
8,15	0,65	0,6	0,5	0,45
15,15	0,68	0,65	0,60	0,55
25,4	0,72	0,68	0,65	0,60
40,6	0,75	0,70	0,70	0,65
60,8	0,8	0,75	0,75	0,70
80,12	0,82	0,78	0,80	0,75
au-delà	0,85	0,80	0,82	0,77

La formule (18) permet donc de déterminer les dimensions d'un moteur à vapeur devant fournir un travail de W_u kilogrammètre par coup de piston. Calculons, pour fixer les idées, la course et le diamètre du cylindre d'un moteur à simple effet, devant faire 10 chevaux à une vitesse de 300 tours par minute.

Nous aurons dans ce cas :

$$W_u = \frac{10 \times 75 \text{ kilogrammètres} \times 60}{300} = 150 \text{ kilogrammètres.}$$

On posera donc :

$$150 = K_u \cdot p_0 \frac{l_c}{n} S^2 \left[1 + \log \text{nep}\, n - \frac{p_1 n}{p_0}\right].$$

La pression d'admission étant de 6 atmosphères, et le degré de détente de 5, on trouvera, si le moteur marche sans condenseur :

$$p_0 = 6\,000 \text{ kg par mètre carré,}$$
$$n = 5,$$
$$p_1 = 1\,500 \text{ kg par mètre carré,}$$
$$K_u = 0{,}5,$$
$$\log \text{nep}\, n = 3{,}91.$$

En substituant, nous aurons :

$$150 = 0{,}5 \cdot \frac{6\,000}{5} \cdot l_c S^2 \left(1 + 3{,}91 - \frac{1{,}5 \times 5}{6}\right)$$

$$150 = 6\,000 \times 3{,}66 \times l_c S^2 = 21\,960 \times l_c S^2\,;$$

d'où

$$l_c S^2 = \frac{150}{21\,960} = 0^{m^3}{,}0071 = l_c \cdot \pi r^2.$$

On se fixe généralement le rapport $\frac{l_c}{r}$. Pour les machines à grande vitesse, ce rapport doit être moins élevé que pour les machines lentes.

Dans notre cas, on peut poser $\frac{l_c}{r} = 4$, ce qui donne :

$$3{,}14 \, . \, 4r^3 = 0{,}0071 \, ;$$

d'où

$$r = \sqrt[3]{\frac{0{,}0071}{12{,}56}} = \sqrt[3]{0{,}00056},$$

d'où

$$r = 0^{m}{,}0825$$

ou bien

$$D = \text{diamètre du piston} = 16^{cm}{,}5.$$

En remplaçant r par sa valeur, la relation

$$l_c = 4r$$

permet de calculer la course à donner au piston :

$$l_c = 4 \times 8^{cm}{,}25 = 38 \text{ centimètres.}$$

On donnera au cylindre une longueur un peu plus grande que l_c pour tenir compte de l'*espace mort*, qui doit toujours exister. Lorsqu'il y a compression un peu avant la fin de la course, on détermine l'espace mort de façon à ce que la pression de la vapeur comprimée atteigne la pression de l'admission au moment où celle-ci commence.

Si nous avions eu à faire à une machine à *double effet*, les calculs auraient été les mêmes ; mais, au lieu

de 150 kilogrammètres à fournir par coup de piston, ce chiffre serait tombé de moitié.

Machines Compound. — Pour pouvoir faire usage de pressions élevées, on a recours à une machine à deux cylindres. La vapeur, après avoir effectué son cycle dans le premier cylindre, passe dans le second et de là dans le condenseur ou dans l'atmosphère, suivant le cas. Les deux cylindres sont généralement fondus en

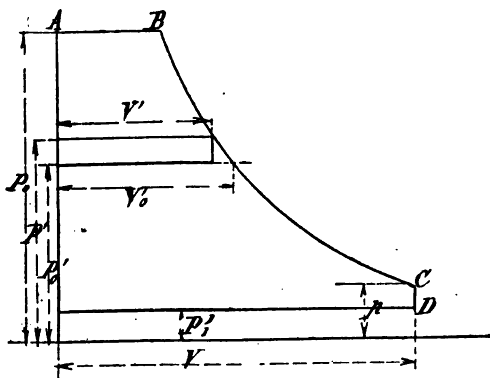


Fig. 10.

une pièce et travaillent simultanément. La Fig. 10 représente le cycle complet suivi par la vapeur.

Soient :

V le volume du grand cylindre, représenté par l'abcisse ED;

V' le volume du petit cylindre;

r_0 le rapport $\frac{V}{V'}$:

$$m = \frac{V'_0}{V'};$$

V_0 le volume sous lequel la vapeur est admise au petit cylindre ;

n la détente totale $\frac{V}{V_0}$;

n_0 la détente partielle au petit cylindre $\frac{V'_0}{V_0}$;

V'_0 le volume sous lequel la vapeur est admise au grand cylindre après avoir quitté le petit ;

n_1 la détente partielle au grand cylindre $\frac{V_0}{V}$;

p_0 la pression d'admission au grand cylindre ;

p'_0 la pression d'admission au petit cylindre ;

p'_1 la pression d'échappement au grand cylindre.

Détermination du volume du grand cylindre. — On calcule le grand cylindre exactement de la même manière que dans le cas d'une machine monocylindrique pour une pression d'admission p_0 et une détente totale n. Seul le coefficient K_0 de *rendement organique* se trouve légèrement diminué. Il en résulte donc que K_u varie également et, si nous désignons cette nouvelle valeur de K_u par K'_u, la pratique apprend que l'on peut poser :

$$K'_u = 0{,}9 K_u.$$

Détermination du volume du petit cylindre. — On s'arrange, en général, dans les machines *Compound*, de façon à ce que le petit et le grand cylindre travaillent également, afin de permettre de donner les mêmes dimensions aux organes de transmission.

On peut donc poser la relation

$$(19) \quad \begin{cases} p_0 V_0 \left(1 + \log \text{nep}\, n_0 - \frac{n_0 p'_0}{p_0}\right) = \\ = p'_0 V'_0 \left(1 + \log \text{nep}\, n_1 - \frac{n_1 p'_1}{p'_0}\right). \end{cases}$$

Or, d'après les hypothèses que nous avons faites, la courbe BC étant une isotherme, on aura

$$(a) \qquad p_0 V_0 = p'_0 V'_0.$$

ou bien,

$$p'_0 = \frac{p_0 V_0}{V'_0}.$$

Et comme

$$V_0 = \frac{V'_0}{n_0 m},$$

on a également,

$$(b) \qquad p'_0 = \frac{p_0}{n_0 m}.$$

De même

$$n_1 = \frac{V}{V'_0};$$

et comme

$$V'_0 = V_0 n_0 m$$

et

$$V_0 = \frac{V}{n},$$

on trouve que

$$(c) \qquad n_1 = \frac{n}{n_0 m}.$$

En tenant compte des relations (a), (b) et (c), l'équation (19) se réduit à

$$(20) \quad 1 + \log \text{nep}\, n_0 - \frac{1}{m} = 1 + \log \text{nep} \frac{n}{n_0 m} - n \frac{p'_1}{p_0};$$

n étant donné ainsi que p'_1 et p_0, on pourra déduire de

cette relation la valeur de n_0, ce qui permettra de calculer V' et V'_0 d'après les équations

$$V' = n_0 V_0$$

et

$$V'_0 = m V' = m n_0 V_0 = \frac{m_0 n_0 V}{n}.$$

Le volume du petit cylindre se trouve donc déterminé et le problème est ramené à celui que nous avons traité dans le cas d'une machine monocyclique.

A côté des machines *monocylindriques* et *Compound*, viennent se ranger des machines à triple et même à quadruple expansion. Pour déterminer les dimensions des cylindres, on suivra le même procédé que nous avons exposé au sujet des machines *Compound*, en ayant soin de tenir compte d'une diminution du rendement organique.

Appliqués à la traction, les moteurs à vapeur ne sont jamais qu'à simple ou à double expansion. Si l'on ne tient pas compte de la complication, ce qui, en règle générale, est à éviter dans la locomotion automobile, la pratique montre que jusqu'à 4 atmosphères il est avantageux d'employer une machine monocylindrique, de 4 à 7 atmosphères une machine Compound et, au-delà, des machines à triple et à quadruple expansion.

Ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, on tend généralement à simplifier, autant que possible, les moteurs qui servent à la locomotion automobile sur route, et qui se sont livrés à des mains inexpérimentées. C'est pourquoi nous rencontrerons presque toujours des moteurs monocylindriques, les machines

Compound n'étant guère employées que sur les gros tracteurs développant une puissance de 50 et même de 100 chevaux. Le condenseur, tant employé dans la marine et pour les installations fixes, n'est jamais employé pour la traction à vapeur à cause de la grande quantité d'eau qu'il nécessite. Il s'en suit donc que le rendement des moteurs destinés à la locomotion ne peut jamais être très élevé. On arrive toujours pour les machines de 4 à 5 chevaux, à une consommation de près de 20 kg d'eau et de 2 kg de charbon par cheval et par heure, et on devra prévoir le générateur en conséquence.

Organes de distribution. — Lorsque l'on a calculé les dimensions d'un cylindre en vue d'un degré de détente et d'une puissance donnés, il reste à établir la distribution de la vapeur, de façon à ce que cette vapeur effectue le cycle que l'on s'est proposé de réaliser. Longtemps on a fait usage de soupapes et de robinets, que des mécanismes appropriés ouvraient et fermaient à temps voulu. Ces mécanismes étaient relativement compliqués et, aujourd'hui, on préfère, pour les faibles puissances, faire usage du *tiroir à coquille* dont le simple déplacement suffit pour effectuer toutes les phases du cycle à réaliser dans le moteur à vapeur.

Le tiroir consiste essentiellement en une plaque métallique dressée et polie, recouverte d'un chapeau (Fig. 11). Cette plaque glisse sur une autre plaque venue de fonte avec le cylindre et communiquant avec ses deux extrémités par deux conduits *a*, *b* (Fig. 12). Un troisième conduit C débouche à l'air libre ou dans le condenseur. La plaque en fonte dressée est recouverte d'une boîte à vapeur mise en communication constante avec la chau-

dière. Dans quelque position qu'il se trouve, le tiroir doit toujours intercepter la communication entre la chaudière et le conduit central *c*. Tour à tour il démasquera l'un ou l'autre des conduits *a* et *b*, admettant ainsi alternativement la vapeur sur chacune des faces du piston. Les dimensions du tiroir sont telles que, en admettant la vapeur par la *lumière a*, la lumière *b* communiquant avec l'autre côté du piston, sera mise en communication avec l'intérieur du tiroir et la vapeur pourra s'échapper par le conduit *c*.

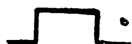


Fig. 11.

La fig. 14 représente un tiroir normal placé sur sa *glace* dans une position moyenne, et une vue en plan des trois lumières *a*, *b* et *c*. Les quantités *e* et *i*, dont les rebords du tiroir dépassent les arêtes des lumières, prennent le nom de *recouvrements* extérieurs et intérieurs. Sans ces recouvrements, la détente serait impossible, car, dès que le tiroir fermerait une des lumières, la lumière *a* par exemple, il mettrait en communication cette lumière avec l'intérieur du tiroir, c'est-à-dire avec l'orifice de décharge *c*.

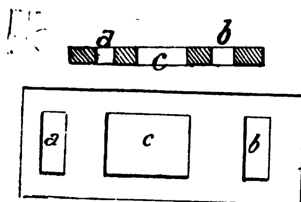


Fig. 12 et 13.

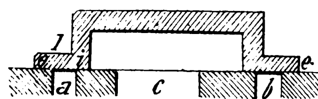


Fig. 14.

S'il n'y avait pas de recouvrements, il faudrait, pour que l'admission commence au début de la course du piston, que le tiroir se trouve au point mort à cet ins-

tant et que le rayon d'excentricité de l'excentrique soit à 90° avec la direction de la manivelle de la machine à vapeur. A cause du recouvrement e, il convient de caler l'excentrique de façon à ce que son rayon fasse un angle plus grand que 90° avec la manivelle. En appelant δ ce décalage, l'angle entre la manivelle et le rayon de l'excentrique sera de $90° + \delta$.

Pour pouvoir déterminer les dimensions d'un tiroir, il faut avant tout connaître la position qu'il prend par rapport à sa position moyenne, pour les diverses positions du piston avec un excentrique de rayon donné. Le diagramme de Zeuner nous fournit la solution du problème.

Diagramme de Zeuner. — La Fig. 15 nous montre

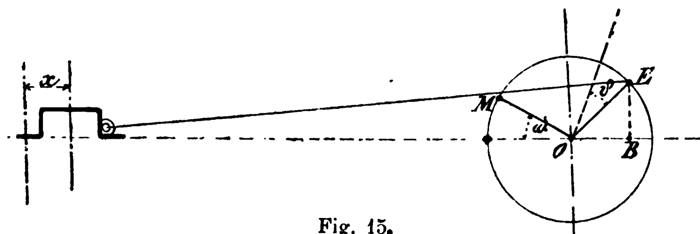


Fig. 15.

le tiroir à une distance x de sa position moyenne. Si nous désignons par ω l'angle dont a tourné la manivelle à partir du commencement de la course du piston, et par δ l'angle de calage de l'excentrique, x sera égal à OB; on a donc

$$x = OB = r \sin OEB = r \sin (\omega + \delta),$$

ou bien

$$x = r \sin \delta \cos \omega + r \cos \delta \sin \omega.$$

Si nous posons

$$r \sin \delta = A$$

et

$$r \cos \delta = B,$$

nous aurons donc

$$x = A \cos \omega + B \sin \omega.$$

Cette équation représente en coordonnées polaires deux circonférences tangentes, de même rayon et dont les diamètres font un angle δ avec la perpendiculaire à la direction de la manivelle au point mort.

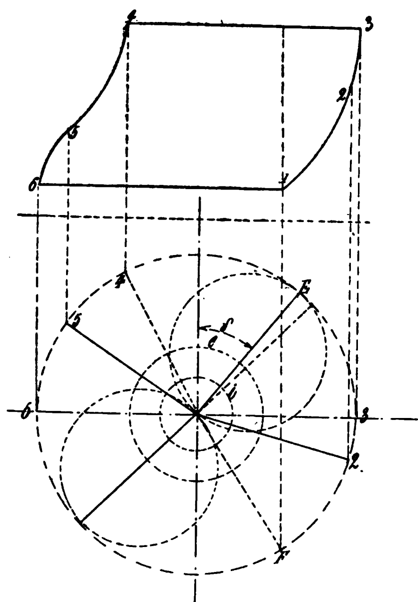


Fig. 16.

Si nous traçons ces deux circonférences, ainsi que le montre la Fig. 16, et si, à partir du point O, nous menons des rayons correspondant à diverses positions de la manivelle, les longueurs interceptées par les circonférences représenteront le déplacement du tiroir. Il est aisé de voir que, si nous menons du point O comme

centre, deux cercles dont les rayons soient respectivement égaux au recouvrement extérieur e et au recouvrement intérieur i, les intersections de ces cercles avec les deux autres que nous avons tracés, détermineront exactement la position de la manivelle correspondant au commencement de l'admission, de la détente et de l'émission. L'examen de la Fig. 16 suffit pour se rendre compte de la manière dont on procède pour déterminer toutes les phases d'un cycle, à l'aide du diagramme de Zeuner. A chaque instant l'ouverture d'une lumière à l'admission sera représentée par

$$h = x - e,$$

et l'ouverture de la même lumière à l'émission par

$$K = x - i.$$

On donnera toujours aux lumières des dimensions suffisantes pour ne pas étrangler la vapeur à son entrée dans le cylindre, en admettant une vitesse d'écoulement de la vapeur de 25 mètres à la seconde.

Il est facile, à l'aide du diagramme de Zeuner, de résoudre tous les problèmes d'une distribution par tiroir. Nous n'insisterons pas davantage sur ce point, et nous renvoyons ceux de nos lecteurs qui voudraient approfondir ce sujet, aux ouvrages spéciaux qui ont été publiés sur les divers genres de distribution.

Générateurs de vapeur. — Pour terminer ces généralités sur la machine à vapeur, nous dirons quelques mots des générateurs.

Les chaudières les plus simples sont, sans contredit, les anciennes chaudières à corps droit, chauffées exté-

rieurement. Si on leur donne une longueur suffisante, leur rendement peut égaler celle des autres chaudières. Leur grand inconvénient est de prendre beaucoup de place, ce qui les rend absolument impraticables pour la locomotion automobile.

On cherche toujours dans cette application, à réaliser des générateurs extrêmement légers, pouvant fournir une grande quantité de vapeur sous un faible volume. Les chaudières tubulaires sont celles qui donnent le

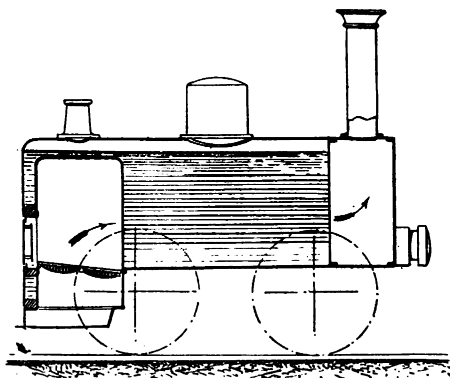


Fig. 17.

meilleur résultat à ce point de vue ; elles permettent de vaporiser 100 à 120 kg d'eau par mètre carré de surface de chauffe, à la pression de 7 atmosphères, alors que, même les chaudières à foyer intérieur genre *Lancashire*, ne vaporisent qu'environ 35 kg d'eau par mètre carré de surface de chauffe. La Fig. 17 représente une chaudière genre locomotive.

Pour qu'une chaudière soit réputée solide, il faut que l'épaisseur des tôles, constituant le corps cylindrique,

soit calculée d'après la formule suivante, imposée aux constructeurs par les règlements officiels :

$$e = 1{,}8d\,(n - 1) + 3,$$

e représentant l'épaisseur des tôles en millimètre, *d* le diamètre du corps cylindrique en mètres, et *n* le nombre d'atmosphères absolues régnant dans la chaudière.

Nous avons dit que toutes les chaudières bien proportionnées avaient à peu près le même rendement ; elles produisent 8 à 9 kg de vapeur par kilogramme de combustible.

On calculera donc la surface de chauffe totale de la chaudière en raison du nombre de kilogrammes de vapeur que l'on a à produire par heure pour alimenter le moteur, en se basant sur une puissance de vaporisation de 100 kg par heure et par mètre carré pour les chaudières genre locomotive.

Connaissant la surface de chauffe totale, on donnera à la grille une surface égale à environ un trentième de cette valeur. On peut, du reste, calculer exactement cette surface en admettant qu'avec un tirage ordinaire on brûle environ 70 kg de charbon par heure et par mètre carré, et 135 kg avec tirage forcé.

Nous n'insisterons pas sur cette question des générateurs, d'autant plus que nous aurons à y revenir en étudiant certains types spéciaux de chaudières, entre autres celles de MM. de Dion et Bouton, et de M. Serpollet qui ont été crées spécialement en vue de la locomotion, et nous passerons à l'étude des moteurs à gaz de pétrole.

Moteurs à gaz. — Il est aisé de se rendre compte du fonctionnement d'un moteur à gaz.

Supposons que, par un procédé quelconque, nous aspirions ou que nous refoulions dans un cylindre un mélange d'air carburé ou de gaz et d'air, dans une proportion telle que le mélange soit explosif : Si alors nous déterminons l'explosion à l'aide d'une étincelle électrique ou de tout autre procédé, le mélange de gaz se trouvera presque instantanément porté à une très haute température et à une pression correspondant à cette température. Le piston qui, d'un côté, limitait le volume du gaz, sera vivement projeté en avant jusqu'au moment où la pression sera devenue voisine de celle de l'atmosphère en vertu de l'augmentation de volume des gaz chauds déterminé par le déplacement du piston.

Pendant la course rétrograde, les gaz brûlés seront expulsés et, si l'on introduit dans le cylindre un nouveau mélange explosif, on pourra communiquer une nouvelle impulsion au piston. Il est aisé de comprendre que l'on peut introduire le mélange explosif au commencement de la course du piston à l'aide d'un compresseur spécial et réaliser ainsi le cycle que nous venons de mentionner. Les moteurs de ce genre prennent le nom de *moteurs à deux temps* ; on obtint une explosion par tour de manivelle. Dans ce cas, les gaz peuvent être admis à la pression atmosphérique avant l'explosion ou bien à une pression supérieure. De là, deux nouvelles subdivisions.

Dans la plupart des moteurs actuels, on obtient une compression initiale des gaz en faisant aspirer le mélange pendant toute la course directe du piston et en

les comprimant pendant toute la course rétrograde; c'est seulement lorsque le piston se meut de nouveau dans le sens direct, que l'explosion se produit. Les phases du cycle parcouru sont donc les suivantes :

Première course directe : aspiration du mélange.

Première course rétrograde : compression du mélange.

Deuxième course directe : explosion et détente.

Deuxième course rétrograde : expulsion des gaz brûlés.

Sur quatre courses du piston, nous n'avons donc qu'une course utile pendant laquelle se fait l'explosion et la détente. C'est la caractéristique des moteurs dits *moteurs à quatre temps* qui, comme les moteurs à *deux temps*, peuvent être ou non à compression préalable du mélange explosif.

Les moteurs à *quatre temps* à compression préalable sont de beaucoup les plus usités.

Un des avantages incontestables du moteur à gaz sur le moteur à vapeur est la supression d'un générateur encombrant et lourd, la chaudière. C'est dans cet organe que s'effectue la première opération du cycle de Carnot, la production d'un certain volume de vapeur à pression constante. Dans les moteurs à gaz, ainsi que nous l'avons dit plus haut, c'est dans le cylindre même du moteur que se fait celtte opération et, comme la transformation est presque instantanée, les pertes de chaleur sont presque nulles. Il s'en suit donc que, si le cycle parcouru par les gaz chauds transformait toute l'énergie disponible en travail, le rendement du moteur se rapprocherait beaucoup de l'unité.

Malheureusement, il n'en est pas ainsi. On se trouve obligé, à cause de la température élevée des gaz, de refroidir le cylindre à l'aide d'une circulation d'eau, de façon à pouvoir le graisser convenablement, et la chaleur perdue de ce chef peut se monter à 50 $^0/_0$ de la chaleur totale disponible. D'un autre côté, les gaz brûlés, lorsque leur pression est tombée à une pression voisine de celle de l'atmosphère, sont encore à une température élevée, et l'émission des gaz à cette température, qui doit théoriquement atteindre près de 1 000° absolus, est une nouvelle cause de perte.

Après l'explosion, la température atteinte par les gaz est d'environ 2 000° absolus, de sorte que si l'émission se fait à 1 000°, c'est encore une perte de 50 $^0/_0$ de la chaleur totale disponible.

A première vue, on serait tenté de croire que si l'on perd 50 $^0/_0$ d'un côté et 50 $^0/_0$ d'un autre, il n'y aura plus de chaleur disponible pour produire du travail. Il n'en est cependant pas ainsi, car les 50 $^0/_0$ de la chaleur perdue à l'émission portent sur la chaleur disponible, abstraction faite de la chaleur perdue par l'eau de refroidissement.

Si nous désignons par Q_t la chaleur totale dégagée par l'explosion, la perte due au refroidissement sera $Q_t \cdot \frac{50}{100}$, de sorte que la chaleur transformable en travail ne sera plus que

$$Q'_t = Q_t - Q_t \cdot \frac{50}{100} = \frac{Q_t}{2}.$$

Les 50 $^0/_0$ de cette chaleur Q'_t sont emportés par les

gaz chauds à l'émission et la chaleur transformable en travail deviendra

$$Q_u = \frac{Q'_t}{2} = \frac{Q_t}{4} = 25\ \%\ \text{de}\ Q_t.$$

En pratique on n'obtient même pas ce résultat; un rendement de 20 % est considéré comme très beau. Il est à remarquer, du reste, que ce rendement est encore plus du double de celui que l'on peut espérer des meilleures machines à vapeur.

Il est assez curieux de remarquer que cet avantage est dû surtout à la suppression de la chaudière, dont le rendement dépasse rarement 50 %. Si, pendant un instant, nous supposions nulles les pertes inhérentes au générateur de vapeur, le rendement serait doublé et atteindrait par conséquent un chiffre voisin de celui que l'on obtient avec les moteurs à pétrole ou à gaz.

Jusqu'à présent, nous avons appelé rendement d'un moteur, le rapport de la chaleur transformée en travail à la chaleur totale produite. Une partie du travail produit est utilisé pour produire du travail extérieur disponible sur l'arbre du moteur; mais une autre partie de ce travail est absorbée par la machine elle-même pour vaincre les résistances passives constituées par le frottement du piston et des organes de transmission et de distribution.

Nous conviendrons d'appeler *rendement organique* le rapport du travail recueilli sur l'arbre moteur au travail théoriquement disponible. Si nous désignons par μ_0 ce nouveau rendement, par W_t le travail théorique-

ment disponible, et par W_u le travail utile, nous aurons :

$$\text{Rend. org.} = \mu_0 = \frac{W_u}{W_t} = \frac{W_t - W_p}{W_t},$$

W_p désignant les pertes d'énergie dues aux résistances passives.

Si μ_c désigne le rendement calorimétrique du moteur et W_T l'énergie totale due à la combustion des gaz, on aura également :

$$\mu_c = \frac{W_t}{W_T},$$

de telle sorte que le rendement utile μ_u sera égal à

$$\mu_u = \frac{W_u}{W_T} = \frac{\mu_0 W_t}{\frac{W_t}{\mu_c}} = \mu_0 \mu_c.$$

On voit donc que le rendement utile d'un moteur est égal au produit du rendement calorimétrique par le rendement organique. Ce dernier varie peu et ne dépend, pour un moteur, que du soin apporté dans la construction. C'est surtout le rendement calorimétrique qui est susceptible d'être augmenté.

Jusqu'à présent, un des moyens qui donne le meilleur résultat est de créer, au moment de l'explosion, une compression relativement considérable. Il est, du reste, facile de se rendre compte des avantages que cette compression *isothermique* peut procurer.

Soit v le volume du gaz au moment de l'explosion, P sa pression et Q la chaleur que développe ce gaz en

brûlant. Si la compression a été isothermique, la température finale et la pression résultante seront les mêmes quel que soit le degré de compression. La pression P du mélange sera donc d'autant plus grande que la compression aura été plus forte sans que la température du mélange soit modifiée. Nous savons d'autre part que plus la pression initiale sera forte, plus nous pourrons pousser la détente avant d'arriver à la pression atmosphérique et, par conséquent, plus la température des gaz à l'échappement sera basse, ainsi que la perte résultant de la chaleur emportée par les gaz.

La compression adiabatique n'offre pas les mêmes avantages, parce que la température des gaz avant l'explosion se trouve élevée par cette compression, de sorte que lorsque l'explosion se produit la température atteinte est plus forte que si on n'avait pas comprimé les gaz.

Les moteurs à quatre temps sont très défavorables à ce point de vue, parce que les gaz sont comprimés dans le cylindre du moteur même qui se trouve à une haute température, ce qui a pour effet d'augmenter encore celle des gaz avant l'explosion.

Comme dans les machines à vapeur, il y a avantage à augmenter la vitesse du moteur pour réduire les pertes de chaleur dues à l'action des parois. Il est évident que moins les gaz chauds resteront en contact avec les parois du cylindre, moins il y aura de chaleur emportée par l'eau de circulation. Mais, si l'on augmente la vitesse, il ne faut pas oublier que les pertes dues au frottement augmentent également, et il arrivera un moment où, ce que l'on gagnera en chaleur disponible sera absorbé par l'accroissement des résistances passives.

Ces quelques généralités posées, nous allons aborder l'étude des moteurs à gaz en appliquant les principes de thermodynamique que nous avons établis et auxquels nous avons consacré une partie du Chapitre I.

ÉTUDE CALORIMÉTRIQUE DES MOTEURS A GAZ ET A ESSENCE DE PÉTROLE

Moteurs à quatre temps. — Supposons (Fig. 18) le piston du moteur au commencement de sa course directe

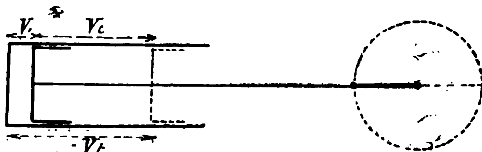


Fig. 18.

pendant laquelle il va aspirer le mélange de gaz et d'air.

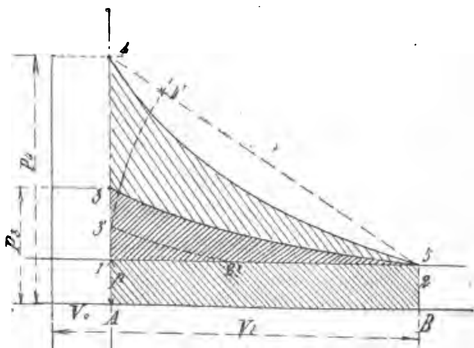


Fig. 19.

Si nous désignons par v_0 l'espace neutre compris entre le piston et le fond du cylindre au commencement de la

course, l'opération qui consiste à aspirer le mélange gazeux à la pression atmosphérique sera représenté sur le diagramme de la Fig. 19 par la droite 1,2. Le volume final v_t occupé par les gaz sera égal au volume initial v_0 plus le volume v_c engendré par le piston en une course. La pression étant approximativement la même sur les deux faces du piston, le travail produit ou dépensé sera nul.

Il n'en sera plus de même pendant la course rétrograde : les gaz seront comprimés adiabatiquement ou isothermiquement suivant le cas, et c'est à la force vive de l'ensemble de la machine que l'on demandera l'énergie nécessaire pour effectuer cette opération. Le travail représenté par la surface 1,3,2 sera donc négatif. On préfère quelquefois ne comprimer les gaz qu'à partir d'un certain point de la course rétrograde, en sorte qu'à la place de la courbe 2,3, la compression se trouve représentée par la ligne pointillée 2'3'.

Dans ce qui va suivre nous supposerons que la compression commence au début de la course rétrograde, ce qui est du reste le cas ordinaire.

Si nous comprimons les gaz isothermiquement, le travail nécessaire pour effectuer cette opération est (Chap. I. p. 10) :

$$(21) \qquad W_c = p_0 v_t . \log \text{nep} \frac{v_t}{v_0}.$$

Dans le cas d'une compression adiabatique cette expression devient :

$$(22) \qquad W_c = \frac{p_0 v_t^{\gamma}}{1-\gamma} \left(v_t^{1-\gamma} - v_0^{1-\gamma}\right) \text{ (adiabatique).}$$

Connaissant v_t et v_0, il est aisé de déterminer W_c dans les deux cas.

La pression résultante au point 3 sera pour la compression isothermique :

$$(23) \qquad p_3 = \frac{p_0 v_t}{v_0} = p_0 \frac{v_t}{v_0};$$

et pour la compression adiabatique, on trouvera, d'après la relation,

$$p_0 v_t^\gamma = p_3 v_0^\gamma$$

$$(24) \qquad p_3 = p_0 \left(\frac{v_t}{v_0}\right)^\gamma.$$

Comme γ dans le cas des mélanges employés est égal environ à 1,4, il est facile de voir que p_3 atteindra une valeur plus élevée par compression adiabatique que si l'on opère isothermiquement. Mais, nous l'avons déjà dit, l'inconvénient du premier mode de compression est d'élever la température des gaz, de sorte qu'après l'explosion la température atteinte est plus élevée que si l'on avait comprimé isothermiquement.

Il est facile de déterminer la température des gaz à la fin de la compression adiabatique.

Des équations

$$p_0 v_t = RT_0$$

et

$$p_3 v_0 = RT_3$$

on déduit :

$$\frac{P_3}{P_0} = \frac{T_3}{T_0} \frac{v_t}{v_0}.$$

Et, comme, d'après l'équation (21)

$$\frac{P_3}{P_0} = \left(\frac{\nu_t}{\nu_0}\right)^\gamma,$$

l'expression précédente prend la forme

$$\left(\frac{\nu_t}{\nu_0}\right)^\gamma = \frac{T_3}{T_0}\left(\frac{\nu_t}{\nu_0}\right),$$

ou bien

$$\frac{T_3}{T_0} = \left(\frac{\nu_t}{\nu_0}\right)^{\gamma-1};$$

et l'on aura facilement

$$T_3 = T_0\left(\frac{\nu_t}{\nu_0}\right)^{\gamma-1} (\gamma = 1,4). \tag{25}$$

Cette équation permet de calculer T_3 en fonction de ν_t, ν_0 et T_0 dont les valeurs sont connues.

Les équations 22, 23, 24 et 25 permettent donc de calculer tous les éléments de la compression ; elles déterminent le travail de compression, la pression finale et la température finale, de sorte que, le point 3 se trouve absolument fixé.

La deuxième course directe qui constitue la troisième phase du cycle comporte l'explosion et la détente des gaz.

En pratique, l'explosion n'est pas absolument instantanée, de sorte que le point 4 n'a pas pour abcisse ν_0 ainsi que nous l'avons indiqué sur le diagramme de la Fig. 19. Suivant la rapidité de l'explosion et la vitesse de déplacement du piston, le point 4 se trouvera plus ou

moins éloigné de la verticale passant par le point 3 et viendra en $4'$ par exemple. Nous ne pouvons évidemment tenir compte de ces perturbations du cycle théorique qui, du reste, varient d'un moteur à un autre; nous nous contenterons de calculer la pression finale et la température finale après explosion, comme si celle-ci était instantanée.

Dans ces conditions, le travail produit pendant l'explosion est nul puisque le piston ne s'est pas déplacé, et toute la chaleur dégagée n'aura eu comme résultat que d'augmenter l'énergie interne du mélange.

Si nous désignons par Q la chaleur dégagée par kilogramme du mélange explosif, par T_4 la température atteinte et par P_4 la pression finale, nous aurons

$$(26) \qquad (T_4 - T_3)C_v = Q.$$

T_3 est connu et C_v, la chaleur spécifique du mélange gazeux, est donnée par la relation

$$C_v = 0,172 + 0,0000492\ T_4.$$

En substituant, on aura donc

$$(26') \qquad (T_4 - T_3)\,(0,172 + 0,0000492\ T_4) = Q.$$

La chaleur dégagée Q dépend de la richesse du mélange. Pour du gaz d'éclairage ordinaire mélangé à 6 volumes d'air, $Q = 574$ calories.

Si nous avons à faire à une compression isothermique et que nous supposions la température du milieu ambiant de 15° centigrades ou de 288° absolus, l'équation précédente se réduira à

$$(T_4 - 288^\circ)\,(0,172 + 0,0000492\ T_4) = 574^{cal},$$

et l'on trouvera, en résolvant cette équation,

$$T_4 = 2298^\circ.$$

Plus loin nous prendrons un exemple numérique en supposant la compression adiabatique.

Nous remarquerons avec M. A. Witz, que les gaz après combustion se sont contractés dans le rapport de 142 à 148, ce qui diminuera la pression finale dans le même rapport.

Si, par conséquent, nous désignons par P_e la pression des gaz à la fin de l'explosion, nous aurons, en supposant une compression initiale nulle :

(27) $$P_e = \frac{142}{148} \frac{RT_4}{\nu_0};$$

et comme

$$P_3 \nu_0 = RT_3$$

on aura pour $P_3 = 1$

$$\nu_0 = RT_3.$$

En substituant, l'équation (27) prend la forme :

$$P_e = \frac{142}{148} \frac{T_4}{T_3} = \frac{142}{148} \cdot \frac{2\,298}{288} \cdot = 7^{atm},62.$$

En multipliant P_e par degré de compression $\frac{P_3}{P_0}$, on arrivera à la valeur P_4 de la pression à la fin de l'explosion,

(28) $$P_4 = \frac{P_3}{P_0} \cdot \frac{142}{148} \cdot \frac{2\,298}{288} = \frac{P_3}{P_0} \cdot 7^{atm},62.$$

Si, par exemple, nous supposions le rapport de compression égal à 3, P_4 prendrait la valeur

$$P_4 = 22^{\text{atm}},86.$$

A cause de la chaleur absorbée par les parois froides du cylindre, et à cause de la non-instantanéité de l'explosion, la pression n'atteint jamais cette valeur en pratique avec le degré de compression que nous avons admis.

Après l'explosion on cherchera à ramener les gaz, autant que possible, à la pression atmosphérique par une détente que, vu leur faible conductibilité spécifique, nous supposerons adiabatique.

Sous le volume final ν_t, les gaz devront donc se trouver à la pression P_0 et nous devrons avoir la relation

$$P_4 \nu_0^{\gamma} = P_0 \nu_t^{\gamma}$$

ou bien :

$$\left(\frac{\nu_t}{\nu_0}\right)^{\gamma} = \frac{P_4}{P_0};$$

d'où

(29) $$\nu_t = \nu_0 \left(\frac{P_4}{P_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}}.$$

Dans le cas où il n'y aurait pas de compression initiale, on trouverait

$$\nu_t = \nu_0 (7,6)^{\frac{1}{1,4}} = \nu_0 . 7,6^{0,715} = 3,9 . \nu_0 ;$$

et avec une compression de 3 atmosphères

$$\nu_t = \nu_0 . 22,8^{0,715} = 8 . \nu_0 .$$

Comme dans le cas de la compression adiabatique, nous pourrons évaluer la température d'après l'équation (25) :

$$T_4 = T_5 \left(\frac{\nu_t}{\nu_0}\right)^{\gamma - 1}$$

$$T_5 = T_4 \left(\frac{\nu_0}{\nu_t}\right)^{\gamma - 1}.$$

Si les gaz n'avaient pas été comprimés on aurait donc :

$$T_5 = 2\,298.\left(\frac{1}{3,9}\right)^{0,4} = 1\,200^{\circ}.$$

Et dans le cas de la compression de 3 atmosphères

$$T_5 = 2\,298.\,\frac{1}{8}^{0,4} = 820^{\circ}.$$

Les chiffres précédents montrent nettement l'avantage d'une compression isothermique préalable. Tout n'est pas gain cependant, car il faut se rappeler qu'il a fallu effectuer un travail négatif pour comprimer les gaz, ce qui dans certains cas, peut compenser l'avantage d'expulser les gaz brûlés à une température plus basse, comme nous le verrons plus loin. Lorsqu'il s'agit de locomotion automobile, l'économie n'est qu'un facteur secondaire, et il faut chercher avant tout à obtenir une grande puissance sous un faible volume. Dans ce cas, la compression préalable s'impose ; le travail développé par coup de piston est sensiblement proportionnel au degré de compression, toutes choses égales, c'est-à-dire au volume de gaz dépensé.

Pour trouver le travail fourni par la détente adiabatique nous pourrions faire usage de la formule (21)

$$W_d = \frac{p_0 v_t^{\gamma}}{1-\gamma}\left(v_t^{1-\gamma} - v_0^{1-\gamma}\right);$$

mais, puisque le travail extérieur produit est dû uniquement à la variation de l'énergie interne des gaz, il sera plus facile de poser

$$W_d = U_4 - U_5,$$

et comme l'énergie d'un gaz est fonction de sa température seule, on aura :

$$W_d = C\,(T_4 - T_5). \tag{30}$$

C est à peu près constant et égal à $a + \frac{bR}{2}(T_4 + T_5)$, pour le mélange considéré. Les valeurs de a et b sont données dans les tables placées à la fin du chapitre. On voit donc que *le travail fourni par kilogramme de gaz sera d'autant meilleur que la température d'expulsion sera plus basse et la température à la fin de l'explosion plus élevée.*

Malheureusement, en pratique on ne peut pas admettre des températures trop élevées et, nous l'avons déjà dit, on est même obligé de refroidir le cylindre pour assurer le graissage et le bon fonctionnement du moteur. On ne peut pas non plus faire baisser la température des gaz à l'émission au-dessous d'un certain degré (la moitié environ de la température à la fin de l'explosion), sans faire tomber la pression au-dessous de celle de l'atmosphère. On voit donc que, même théoriquement, la perte

provenant de la chaleur emportée par le mélange gazeux est égale à la moitié de la chaleur totale disponible.

D'après ce que nous avons établi, il est facile de trouver l'expression du rendement calorimétrique d'un moteur à quatre temps et à compression adiabatique préalable.

Il aura pour expression :

$$\mu_c = \frac{\text{Chaleur utile} - \text{Travail de compression}}{\text{Chaleur totale}}$$

$$(31)\ \mu_c = \frac{\left[a + \frac{bR}{2}(T_4 + T_5)\right](T_4 - T_5) - \left[a + \frac{bR}{2}(T_3 + T_0)\right](T_3 - T_0)}{\left[a + \frac{bR}{2}(T_3 + T_4)\right](T_4 - T_3)}.$$

Le facteur $a + \frac{bR}{2}(T' + T'')$ représente la chaleur spécifique du mélange. Si l'on admet que cette chaleur spécifique ne varie pas avec la température, l'équation (28) devient :

$$(28) \qquad \mu_c = \frac{(T_4 - T_5) - (T_3 - T_0)}{(T_4 - T_3)}.$$

Dans bien des cas, cette formule permet de se rendre suffisamment compte du rendement auquel on doit s'attendre.

On n'a jamais à faire à une compression isothermique dans les moteurs à quatre temps. Pour l'obtenir, il faut recourir à un compresseur spécial et le moteur devient alors un moteur à deux temps.

Dans ce cas le travail de compression nous est donné par l'expression

$$W_c = p_0 v_t \log nep \frac{v_0}{v_t},$$

et c'est cette valeur multipliée par $\frac{1}{425}$ qu'il faudra retrancher de la chaleur utile, dans l'expression du rendement.

Les moteurs à deux temps sont en tous points comparables aux moteurs à quatre temps, si ce n'est que leur rendement organique est un peu plus faible. Ils ont l'avantage de pouvoir comprimer les gaz au degré voulu, ce qui est difficile dans un moteur à quatre temps où la compression se produit généralement au commencement de la course rétrograde du piston. Le moteur à deux temps aura aussi l'avantage de pouvoir fournir, à la même vitesse, deux fois plus d'explosions qu'un moteur à quatre temps ; il sera donc deux fois plus puissant sous le même volume si l'on ne tient pas compte de l'espace occupé par le compresseur.

En somme, tout se passe exactement de la même manière que dans le moteur à quatre temps si ce n'est que l'aspiration et la compression des gaz se produit dans un cylindre séparé. Nous ne reviendrons donc pas sur ces opérations que nous avons déjà analysées en détail.

Les tables disposées à la fin du chapitre permettent de calculer le travail théoriquement disponible dans un moteur à gaz avec des mélanges explosifs de richesse variable. Ces tables dispenseront même dans bien des cas de faire tous les calculs que nous avons indiqués.

Nous croyons bon cependant, pour mieux fixer les idées et montrer l'application des formules que nous avons établies, de recourir à un exemple numérique.

Prenons le cas d'un moteur avec compression isothermique préalable de 3 kg par centimètre carré, et sup-

posons que nous voulions avoir une puissance de 10 chevaux utiles à la vitesse de 500 tours par minute.

La puissance acquise par tour sera donc :

$$W_u = \frac{10 \times 75^{km}}{500} \times 60 = 90 \text{ kilogrammètres.}$$

En consultant les tableaux, nous trouverons que la consommation moyenne des moteurs de ce genre par cheval-heure est d'environ 700 litres de gaz ayant une chaleur de combustion de 573,7 calories par kilogramme de mélange (1 volume de gaz d'éclairage avec 6 volumes d'air).

Le mélange explosif a donc un volume total de

$$700 \text{ litres de gaz} + 4\,200 \text{ litres d'air} = 4\,900 \text{ litres,}$$

et son poids sera :

$$4\,200 \times 1^{gr},25 + 700 \times 0,13 = 5\,250 + 91 = 5\,341^{gr}.$$

Il s'en suit que, par coup de piston, c'est-à-dire par tour, nous devrons introduire dans le cylindre un volume de gaz égal à

$$\frac{4\,900^{l} \times 10^{chx}}{500 \times 60} = 1^{l},63$$

ou bien, en poids,

$$\frac{5\,341 \times 1,63}{4\,900} = 1^{gr},78 \text{ de mélange.}$$

La chaleur développée par $1^{gr},78$ de mélange explosif sera donc :

$$\frac{573,7}{1\,000} \times 1,78 = 1^{cal},02 = 435 \text{ kgm.}$$

Le travail théoriquement disponible sera donc en chiffres ronds de 435 kilogrammètres, et comme nous ne parvenons pas à recueillir plus de 90 kilogrammètres sous forme de travail utile, il est aisé de voir que nous ne recueillons qu'environ 20 pour cent de l'énergie totale disponible. C'est le chiffre que nous avons fait prévoir au début de ce chapitre.

Comprimé isothermiquement à 3 atmosphères, le volume occupé par $1^{lit},63$ de mélange explosif sera :

$$V_0 = \frac{1,63}{3} = 0^{lit},543 = 0^{m^3},000543$$

pour

$$P_3 = 3\,000 \text{ kg par mètre carré.}$$

En supposant la température des gaz comprimés de $273 + 15 = 288^\circ$ absolus, la formule (26) donne

$$(T_4 - 288)\,(0,172 + 0,0000492 T_4) = 573^c$$
$$T_4 = 2\,298^\circ\,;$$

et en remplaçant T_4 et $\frac{P_3}{P_0}$ par leurs valeurs dans l'équation (28), on trouve

$$P_4 = 3.\,\frac{142}{148}.\,\frac{2\,298}{288} = 22^{atm},86.$$

Mais, nous l'avons déjà dit, à cause du refroidissement considérable occasionné par les parois du cylindre et de la non-instantanéité de l'explosion, on peut pratiquement compter que tout se passe comme si la moitié seulement de la chaleur d'explosion du mélange pouvait être utilisée, de sorte que nous baserons nous calculs en

admettant que P_4 n'atteint pratiquement que la moitié de la valeur trouvée ci dessus et nous poserons

$$P_4 = 11,5 = 11\,500 \text{ kg par mètre carré.}$$

Dans ce cas, le volume total d'une cylindrée, ν_t, nous sera donné par l'équation (29),

$$\nu_t = \nu_0 \left(\frac{P_4}{P_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

$$\nu_t = 0^{m^3},000543, (11,5)^{\frac{1}{1,42}} = 5 \times 0,000543 \text{ environ}$$

$$\nu_t = 0^{m^3},002715.$$

La formule (25) nous permet de calculer la température T_5 des gaz à la fin de la détente :

$$T_5 = T_4 \left(\frac{\nu_0}{\nu^t}\right)^{\gamma - 1}$$

$$T_5 = 1\,149 \left(\frac{1}{5}\right)^{0,42} = 1\,149 \frac{1}{2,4} = 500^\circ \text{ environ.}$$

Nous n'avons pris pour T_4 qu'une valeur égale à la moitié de ce qu'indique la théorie pour tenir compte du refroidissement dû à l'action des parois ; pour cette raison nous obtenons une valeur assez petite pour T_5, valeur qui du reste, concorde assez bien avec l'expérience. On obtient même souvent des températures moins élevées, si l'on maintient autour du cylindre une forte circulation d'eau froide. Ce moyen d'abaisser la température des gaz n'a évidemment aucun avantage au point de vue du rendement calorimétrique, bien au contraire. S'il y a moins de chaleur emportée par les gaz chauds, c'est que

cette chaleur a été absorbée par l'eau de circulation et, en outre, l'abaissement correspondant de température et de pression entraîne avec lui une diminution du degré de détente admissible.

La formule (30) nous permet maintenant de calculer le travail fourni par la détente de 1 kilogramme de gaz :

$$W_d = C\,(T_4 - T_5)$$

$$W_d = \left[a + \frac{b}{2}\,R\,(T_4 + T_5)\right](T_4 - T_5)$$

$$W_d = \left[0{,}16 + \frac{0{,}000038}{2}\,(2298 + 1\,000)\right](1\,149 - 500) =$$

$$= 154^{cal}.$$

Or, comme nous n'avons que $1^{gr},78$ de gaz, le travail fourni sera :

$$W_d = \frac{154}{1\,000}\,1{,}78 = 0^{c},278 = 117 \text{ kilogrammètres.}$$

Evaluons, pour terminer, le travail de compression W_c :

$$W_c = P_0\;3.\;V_0 \log \text{nep.}\;\frac{V_1}{V_0}$$

$$W_c = 10\,000.\;3.\;0{,}000543.\;\log \text{nep.}\;3$$

$$W_c = 18{,}46 \text{ kilogrammètres.}$$

En retranchant cette valeur de W_d on trouvera le travail disponible qui, multiplié par le rendement organique du moteur en question, fera connaître le travail utile que l'on peut espérer obtenir sur l'arbre moteur :

$$W_u = (117 - 18{,}5)\;K_0.$$

Si l'on suppose ce rendement organique égal à 0,95, on retombe exactement sur la puissance pour laquelle nous avons construit le moteur, soit :

$$W_u = 90 \text{ kilogrammètres.}$$

Ce résultat confirme nos formules et notre manière de tenir compte des pertes de calorique dans un moteur à gaz.

DISTRIBUTION

Comme pour les moteurs à vapeur la distribution peut se faire par tiroir ou par soupapes. Ce sont ces dernières que l'on emploie le plus généralement, parce qu'elles permettent d'obtenir une étanchéité presque complète.

Le problème de la distribution est, du reste, très simple au point de vue cinématique. Il n'est plus besoin, comme dans une distribution de vapeur, de recourir au diagramme de Zeuner pour assurer le degré de détente voulu et des avances convenables à l'admission et à l'émission. Le problème se réduit simplement à ouvrir, en un point déterminé de la course du piston, la soupape d'admission des gaz en lui permettant de retomber sur son siège au moment où l'explosion va se produire. Une autre soupape qui sert à l'évacuation des gaz doit s'ouvrir pendant toute la durée de la course rétrograde.

Ces deux opérations, caractéristiques d'un moteur *à deux temps* et à compression dans un cylindre spécial, s'effectuent au moyen de cames disposées sur l'arbre du moteur. La Fig. 20 montre schématiquement un dispositif qui peut être employé pour réaliser ces deux

mouvements. A est une came attaquant pendant un temps très court, représenté par l'angle α, une tringle guidée *a* venant butter contre la soupape d'admission. La came E est construite, ainsi que le montre la figure, de façon à venir en contact avec la tringle *e* à la fin de la course directe du piston et à maintenir soulevée la soupape correspondante pendant toute la durée de la course

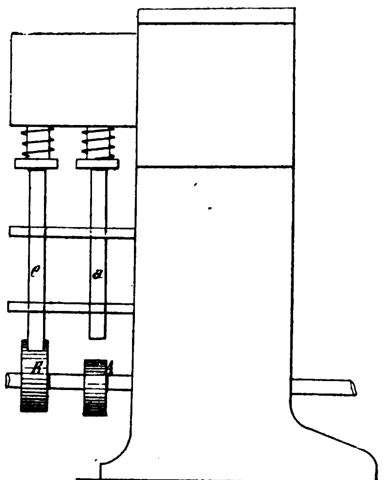


Fig. 20.

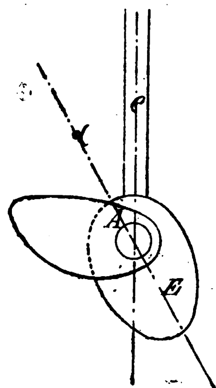


Fig. 21.

rétrograde. Les soupapes sont, en outre, munies de ressorts à boudin pour les faire retomber plus vite sur leurs sièges.

Lorsque l'on se propose de réaliser une distribution à quatre temps, on peut adopter un dispositif analogue. Dans ce cas, on peut ne faire usage que d'une came, celle commandant la soupape d'émission. L'autre soupape fonctionne d'elle-même; lorsque le piston a rejeté les

gaz brûlés, l'effort de succion produit par le piston en s'éloignant du fond du cylindre, est assez considérable pour vaincre la tension du ressort maintenant la soupape sur son siège et aspirer le nouveau mélange gazeux destiné à l'explosion suivante. Pendant la course rétrograde, la soupape d'admission se ferme d'elle-même et les gaz sont comprimés jusqu'au moment où l'explosion se produit.

Nous n'insisterons pas davantage sur la distribution dont nous aurons bientôt à décrire les divers systèmes en parlant des voitures automobiles.

Allumage. — L'allumage du mélange explosif peut se faire de trois manières différentes :

1° allumage par flamme ;

2° allumage par doigt de platine incandescent ;

3° allumage électrique.

L'allumage par transport de flamme a été un des premiers employés. Il est assez recommandable pour les moteurs fixes ; mais il est peu pratique pour les moteurs destinés à la traction.

Le second mode d'allumage, celui par doigt de platine incandescent, est au contraire très en vogue. Il consiste essentiellement en un tube de platine enfermé hermétiquement dans une boîte faisant corps avec le cylindre et pouvant être mise en communication avec l'intérieur de celui-ci au moment de l'allumage, par une soupape ou un petit tiroir. Le tube de platine, traversant les parois de la boîte, est porté au rouge vif à l'aide d'un brûleur spécial. Ce procédé donne d'excellents résultats et n'occasionne que rarement des ratés ; il a cependant l'inconvénient de nécessiter un brûleur spécial, et un organe de

distribution supplémentaire. Il ne se prête pas non plus à l'obtention de températures très élevées qui, nous le savons, constituent un point essentiel pour déterminer une explosion rapide.

Sous ce rapport le troisième procédé l'emporte de beaucoup. L'étincelle électrique est à une température élevée et ce mode d'allumage ne nécessite ni tiroir ni soupape supplémentaire. Deux piles ou deux petits accumulateurs, une bobine de Ruhmkorff, un interrupteur monté sur l'arbre et une bougie en porcelaine pour guider deux fils à l'intérieur du cylindre, constituent tout l'outillage pour la production de l'étincelle. Par sa simplicité, ce dernier mode d'allumage l'emporte donc de beaucoup sur les autres; c'est, du reste, celui que l'on emploie de préférence pour les petits moteurs au-dessous de deux chevaux où toute complication mécanique devient un inconvénient sérieux. Ce genre d'allumage, exige cependant le maintien d'une grande propreté. Le goudron et les impuretés qui se forment souvent dans le cylindre peuvent empêcher la production de l'étincelle en mettant en court circuit les deux extrémités des fils entre lesquelles jaillit l'étincelle. C'est son seul point faible; on peut l'atténuer en employant une bobine puissante. Nous aurons l'occasion dans la suite de revenir sur certains détails de ce mode d'allumage.

ACCUMULATEURS ET MOTEURS ÉLECTRIQUES

Il nous est impossible dans les quelques pages qui vont suivre de donner une idée, même succincte, de l'application de l'électricité à la traction. Ce ne sera donc pas là

notre but; nous tâcherons, après avoir rappelé au lecteur sur quels principes sont basés les moteurs électriques, de lui en signaler les défauts et les avantages, surtout les défauts, de façon à ce qu'il ne se leurre pas d'un vain espoir et ne demande pas plus à l'électricité que ce qu'elle peut donner. Combien ne rencontre-t-on pas de gens qui, parce qu'un véhicule *marche à l'électricité* se figurent qu'il doit aller très vite, être léger et facile à conduire, et ne nécessiter que quelques accumulateurs ou quelques piles, un rien, pour fournir la puissance requise.

Mode de fonctionnement d'un moteur électrique. — Un moteur électrique se compose de deux parties essentielles, l'armature et la culasse (Fig. 22). L'ar-

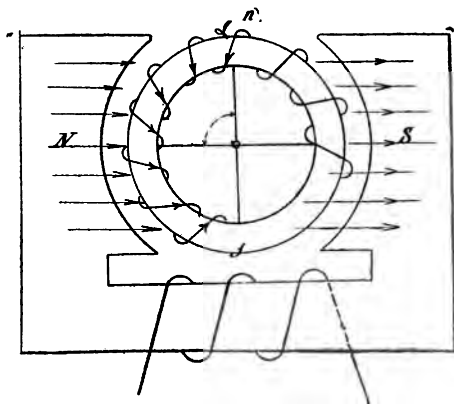


Fig. 22.

mature a généralement une forme annulaire; elle est recouverte de fils de cuivre isolés, enroulés en spirale, ainsi que le représente la figure. La culasse est aimantée par

une bobine ou électro parcouru par un courant électrique, et l'effet de cette aimantation est de créer ce que l'on appelle *un champ magnétique* entre les pôles N et S. Si on lançait un courant électrique dans les fils enroulés sur l'armature dans le sens indiqué sur la figure, l'armature se mettrait à tourner comme l'indique la flèche. Cette rotation est due à l'action exercée par le champ

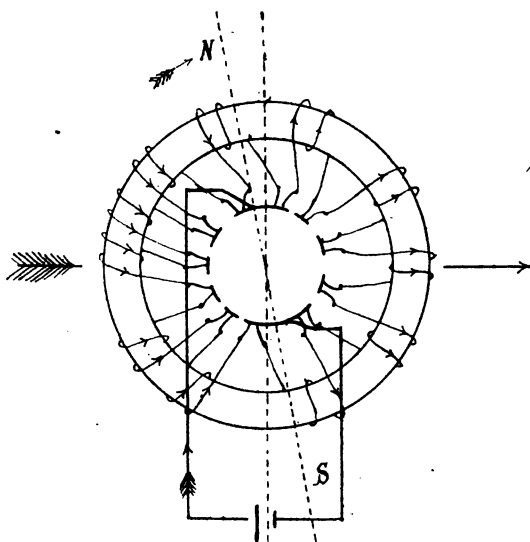


Fig. 23.

magnétique NS sur le courant circulant dans les fils de l'armature. La Fig. 23 représente le dispositif adopté pour que le courant circulant dans les spires à droite et à gauche de la ligne NS soit toujours de même sens, malgré la rotation de l'anneau. Dans ce but, chaque spire est mise en communication avec une lame d'un collecteur K et, à l'aide de deux balais disposés sur ce collec-

teur suivant la ligne NS, le courant passant par ces balais parcourt toujours dans le même sens les deux moitiés de l'induit (armature). En pratique il est avantageux de déplacer les balais d'un certain angle α en arrière de la ligne NS. Pour produire du travail à l'aide de cet arrangement, il n'y aura donc plus qu'à monter l'armature sur un arbre et à mettre les balais et les deux extrémités du fil enroulé sur la culasse en communication avec une source d'électricité.

Nous rappellerons aussi que les principales causes de pertes d'énergie dans un moteur électrique sont les suivantes : 1° transformation d'énergie électrique en chaleur dans les fils de l'induit et dans ceux qui constituent l'électro ou les électros ; 2° pertes dues à la variation de l'aimantation de l'induit. En effet, il est aisé de se rendre compte qu'une section donnée de l'anneau est soumise pendant une révolution à des aimantations égales et de sens contraire ; il en résulte deux genres de pertes : les pertes par courants de Foucault et les pertes par hystérésis. Les premières sont dues aux courants électriques infiniment petits qui se développent, tant dans les fils que dans le fer constituant l'induit et qui, par conséquent, *se transforment en chaleur en pure perte*. Les pertes par hystérésis sont dues à l'inertie du fer à changer d'aimantation ; 3° les frottements mécaniques de l'arbre dans ses paliers.

Ces diverses causes de pertes, l'hystérésis excepté, peuvent être diminuées autant qu'on le jugera nécessaire. Plus on augmentera la section des fils de l'armature et des électros, plus les pertes dues à l'échauffement diminueront, et, si on sectionne convenablement les fils, on

diminuera également les courants de Foucault qui sont susceptibles de se développer. Le fer de l'induit et des inducteurs devra également être sectionné pour éviter les courants de Foucault.

Si, en un mot, on accroissait d'une façon rationnelle toutes les dimensions d'un moteur électrique, on augmenterait son rendement qui pourrait ainsi atteindre jusqu'à 98 pour cent.

Un moteur sera donc d'autant plus économique qu'il sera lourd.

S'il s'agit d'une installation fixe, cette condition n'aura d'importance qu'au point de vue du prix d'achat ; mais quand on applique le moteur électrique à la traction, le travail dépensé étant proportionnel au poids transporté, le poids du moteur devra être pris en considération.

Les moteurs tels qu'on les construit pour la traction, ont rarement un rendement industriel supérieur à 80 pour cent en régime normal. Ce rendement diminue beaucoup lorsque l'on demande au moteur une puissance supérieure à sa puissance normale, ce qui arrive souvent.

Rapportée au poids total, la puissance par kilogramme pourra atteindre 30 watts, en sorte que le poids d'un moteur de 10 chevaux serait :

$$P = \frac{1 \times 736 \times 10}{30 \times 0,8} = \frac{245^{k},3}{0,8} = 306 \text{ kg.}$$

Nous rappellerons qu'un cheval-vapeur est égal à 736 watts.

Le poids d'un moteur électrique n'est donc nullement à dédaigner, et dans bien des cas il pèsera plus qu'un moteur à pétrole de même puissance.

Nous établirons bientôt le poids d'accumulateurs nécessaire pour actionner le moteur et nous verrons qu'il dépasse de beaucoup le chiffre précédent. Au point de vue de la souplesse, de la sécurité et de la conduite, une voiture électrique est de beaucoup supérieure à tous les autres systèmes. Pendant un temps assez long, on peut, en cas de besoin, faire donner à un moteur électrique plus du double de sa puissance normale et, au moment du démarrage, le couple moteur peut être poussé sans inconvénient à des valeurs très élevées. Ce dernier point est absolument irréalisable avec les moteurs à gaz ou à vapeur, à l'exception du système Serpollet.

La conduite est également des plus aisées ; en outre, une voiture électrique aura le grand avantage de ne pas dégager de fumée ni d'odeur désagréable d'huile brûlée ou de pétrole.

Mais, il y a un inconvénient capital qui suffit à lui seul pour condamner presque la voiture électrique : nous voulons parler du générateur d'énergie électrique, c'est-à-dire des accumulateurs.

Depuis la découverte de Planté, qui trouva qu'en électrolysant de l'eau acidulée d'acide sulfurique entre deux lames de plomb, l'élément ainsi constitué pouvait rendre une partie de l'énergie électrique qu'on avait dépensée pour produire l'électrolyse, un grand nombre d'appareils ont été inventés pour emmagasiner l'énergie électrique. Le principe est cependant resté le même ; ce sont toujours des lames de plomb qui constituent les électrodes et l'acide sulfurique très dilué qui sert d'électrolyte.

La force électromotrice nécessaire pour charger ces accumulateurs est toujours 2v,5 environ par élément,

tandis qu'au moment de la décharge il ne donne plus que 2v,10 en moyenne.

Un accumulateur peut rendre environ 90 pour cent de la quantité d'électricité qu'on lui a fourni pendant la charge, à la condition toutefois que le courant de décharge ne dépasse pas une certaine valeur par centimètre carré de plaque. Si l'on forçait le débit, le rendement serait beaucoup moins bon. Au point de vue de l'énergie disponible il n'en est plus de même, car les 90 pour cent d'électricité restituée sont fournis à un potentiel plus bas que celui nécessaire à la charge, de telle sorte que le rendement ne dépasse jamais 75 à 80 pour cent en énergie.

Cette perte de 20 pour cent a déjà une certaine importance, surtout si l'on considère que le moteur électrique n'a pas un rendement supérieur à 80 pour cent, ce qui ramène le rendement de l'ensemble à 60 pour cent au maximum de l'énergie fournie par la dynamo destinée à la charge des accumulateurs. Si l'on multiplie encore ce rendement de 60 pour cent par le rendement de la dynamo que nous supposerons de 90 pour cent, on trouvera que le travail recueilli sur l'essieu de la voiture n'est que de 54 pour cent du travail produit par le moteur à vapeur ou à gaz.

Mais là n'est pas le grand inconvénient au point de vue des voitures automobiles où l'on ne peut prétendre employer un moteur aussi économique que dans les installations fixes. C'est le poids des accumulateurs qui jusqu'à présent est resté l'obstacle le plus sérieux à l'emploi du moteur électrique pour la traction. Pour pouvoir marcher deux ou trois heures de suite à une vitesse

moyenne de 20 kilomètres à l'heure sans recharger les accumulateurs, on est obligé d'emporter un poids d'accumulateurs qui dépasse souvent le poids de la voiture et des voyageurs. Il s'en suit donc que la moitié de l'effort de traction est dépensé uniquement pour tirer le poids mort constitué par les accumulateurs et le moteur. Même sur des lignes de tramway peu accidentées et bien entretenues, la traction électrique par accumulateurs parvient à peine à lutter avec la traction animale; on prétend même qu'elle revient plus cher. Dans ces conditions, n'est-ce pas une utopie que de vouloir faire une voiture automobile basée sur le même principe, mais devant fournir un travail beaucoup plus irrégulier, monter des côtes très dures et se déplacer sur des routes souvent mauvaises? M. Jeantaud y est arrivé; mais à quel prix, et quel sera le commerçant ou même le riche particulier qui voudra s'imposer la tâche de recharger tous les jours les accumulateurs de sa voiture pendant plus de temps qu'il n'a eu à en jouir et cela, moyennant une forte dépense, beaucoup d'ennuis,et l'obligation de revenir à son usine électrique au risque de ne pas trouver autre part cette marchandise peu commune?

Supposons, pour fixer les idées, que nous ayons à prévoir le poids d'accumulateurs nécessaires pour actionner une voiture à quatre places à une vitesse de 20 kilomètres à l'heure. Sur mauvaises routes il ne sera pas exagéré d'évaluer la puissance nécessaire à quatre chevaux utiles, ce qui revient à dire que les accumulateurs devraient fournir une puissance de 5 chevaux, le rendement du moteur étant supposé de 80 pour cent.

Or, les accumulateurs destinés à la traction pèsent,

tout compris (plaques, liquide et caisse d'ébonite) environ 80 kg par cheval-heure.

Pour une durée de 3 heures et une puissance de 5 chevaux, le poids d'accumulateurs nécessaire sera donc

$$P = 80 \times 3 \times 5 = 1\,200 \text{ kg.}$$

Si même l'on admet qu'une puissance de deux chevaux est suffisante pour tirer la voiture à la vitesse voulue, on n'en arrivera pas moins au chiffre de 600 kg. d'accumulateurs, de sorte qu'avec le moteur et le rhéostat de démarrage le poids mort à traîner s'élèvera encore 800 kg.

Pour établir ces chiffres nous avons admis que la capacité des accumulateurs était celle correspondant au régime normal de décharge; mais, à cause de l'effort à donner au démarrage et pour la montée des côtes, il est probable que les poids ci-dessus devraient être encore majorés.

Le tableau (p. 86-87) relatif à la traction par accumulateurs de tramways pouvant recevoir 52 personnes montre que, même sur un profit très favorable à la traction électrique, on ne peut espérer effectuer ce service à moins de $0^{fr},40$ par voiture-kilomètre.

La traction par accumulateurs revient donc relativement cher et n'est possible que sur des parcours restreints permettant de charger souvent les accumulateurs. Plus le parcours sera long, plus on devra emporter d'accumulateurs et, par conséquent, plus le poids mort à traîner sera considérable. A ce point de vue, une petite ligne se prêtera admirablement à ce mode de traction et pourra donner de réels avantages sur tous les autres sys-

tèmes. C'est le seul cas où nous préconisons la traction par accumulateurs. Plus les accumulateurs seront légers, plus on pourra prolonger le service de la voiture avant de recharger ces organes. Pour bien montrer l'importance du poids mort au point de vue de l'économie de la traction, nous rappellerons que M. Sarcia, sur la ligne de tramways Madeleine-Saint-Denis, préfère décharger ses accumulateurs à un régime très élevé au risque de diminuer le rendement de sa batterie, afin de réduire autant que possible le poids à emporter pour fournir la puissance requise.

On peut supprimer les accumulateurs par l'emploi d'un fil aérien et d'un trolley destiné à recueillir le courant sur ce fil et à l'envoyer directement dans le moteur. Ce mode de traction est très économique, et il est à regretter qu'il ne soit pas employé sur une grande échelle comme en Amérique.

Pour terminer ces quelques observations au sujet de la locomotion électrique, nous dirons qu'on ne pourra prétendre à une voiture électrique réellement pratique avant d'avoir trouvé un *générateur* d'énergie très léger et pas trop dispendieux. Nous ne croyons pas beaucoup à l'avenir des accumulateurs même légers, parce qu'ils sont trop sujets à se détériorer et qu'ils obligent à revenir à une station de charge chaque fois que la voiture aura accompli un certain nombre de kilomètres.

PRIX DE REVIENT D'EXPLOITATION PAR KILOMÈTRE-VOITURE

On suppose un service de dix voitures dont deux en réserve

CALCUL D'AMORTISSEMENT (1)

		Capital pour 10 voitures	Capital pour 1 voiture	Taux	Par année-voiture		Frais par journée-voiture	
A. *Matériel roulant*								
Caisse, châssis, essieux, roues		45 000	4 500	15 %		675	1,848	
Moteurs	électros	15 000	1 500	10	150	400	1,095	
	armature	10 000	1 000	26	250			
Mouvements	tendeur	2 000	200	10	20			
	arbre intermédiaire	3 000	300	10	30			
	roues Galle	2 400	240	16	36			
	pignons dentés	1 400	140	50	70	653,5	1,79	
	châssis Galle	13 500	1 360	25	337			
	cordons	800	80	200	160			
Commutateurs	commutateur circulaire	400	400	10	40	50	0,136	
	inverseur de batterie	1 000	100	10	10			
Divers	six lampes	300	30	200	60	72	0,197	
	sommiers	200	20	10	2			
	câbles	1 000	100	10	10			
	huile					1 186,25	3,25	
	graissage, brossage							
Intérêt de deux voitures en réserve						124,46	0,34	8,657
		99 600	9 960					

B. *Matériel fixe*

2 machines à vapeur de 40 chevaux, à 500 fr. le cheval installé; 2 chaudières; 1 machine fait service 20 heures sur 24.	40 000	4 000	10 %				
5 dynamos de charge	7 500	7 50	10		400	1,095	
Divers. . . . { bancs de chargeurs. . . .	3 000	300	10	30			
Divers. . . . { câble de charge	2 000	200	10	20	75	0,205	
Divers. . . . { amp.-mètres et volts-mètres.	300	30	10	3	53	0,145	
Accumulateurs { boîtes en ébonite.	16 000	1 600	6	100,8			
Accumulateurs { 16 000 kg plaques positives .	32 000	3 200	100	1 700	2 254,3	6,243	7,688
Accumulateurs { 16 000 kg » négatives.	32 000	3 200	20	352			
Accumulateurs { boîtes en bois.	7 200	720	10	72			

C. *Force motrice*

2 kilogr. cheval-heure, soit pendant 20 heures, à 23 fr. la tonne	36 fr. 80 (par journée pour 8 voitures)	4,600	
Huile.	8 fr. — —	1	5,600

D. *Personnel*

1 électricien, chef de dépôt.	10 fr.	} 56 fr.		
2 mécaniciens.	14			
2 chauffeurs	12			
4 hommes de peine.	20		7	
Cochers			6,28	15,26

Par voiture-kilomètre, 0 fr. 35. — 100 kilomètres par jour, 35 fr. 20.

(1) Les frais d'entretien ordinaire des voitures ne sont pas comptés.

VERMAND. — MOTEURS A GAZ

Composition du mélange	a	bR	R	$\frac{AR}{a}$	$\frac{bR}{a}$	T	P	Q
Mélange à 6 vol.	0,172	0,0000492	30,87	0.422	0,00057	2298°	7atm,62	573c,75
— à 8 vol.	0.169	0,0000423	30,48	0,423	0,00050	1933	6, 50	436, 60
— à 10 vol.	0,167	0,0000382	30,25	0,426	0,80046	1720	5, 719	352, 30

TEMPÉRATURE MAXIMA

Composition du mélange	Compression isothermique	Compression adiabatique		
		3 atm.	5 atm.	7 atm.
Mélange à 6 vol.	2298	2390	2435	2480
— à 8 vol.	1933	2090	2153	2170
— à 10 vol.	1720	1875	1920	1979

PRESSION MAXIMA

Composition du mélange	Compression isoth.			Compression adiabat.		
	3 atm.	5 atm.	7 atm.	3 atm.	5 atm.	7 atm.
Mélange à 6 vol	22,86	38,10	53,34	17,20	25 15	32.40
— à 8 vol.	19,50	32.50	45,50	15,10	22.35	28,60
— à 10 vol.	17,16	28,59	40,02	13,40	19,80	25,80

VERMAND. — MOTEURS A GAZ

Valeur de la compression	Compression dans le cylindre		Compression dans un cylindre séparé	
	Température d'évacuation des gaz	Rendement	Température d'évacuation	Rendement
3 atmosphères . . .	1504	0,290	1804	0,536
5 — . . .	1325	0,436	975	0,602
7 — . . .	1113	0,546	905	0,640

CHAPITRE IV

ÉTUDE ET DESCRIPTION DE DIVERS SYSTÈMES DE TRACTION A VAPEUR

GÉNÉRATEUR SYSTÈME SERPOLLET

C'est à M. Serpollet que nous devons peut-être un des plus grands progrès réalisés dans la locomotion à vapeur, car, c'est grâce à son générateur qu'on est arrivé à supprimer tous les appareils accessoires tels que niveau d'eau, soupapes, manomètres, thermomètres, etc., que nécessite l'emploi d'une chaudière ordinaire. C'est le seul générateur qui soit toléré pour la circulation dans les grandes villes.

Depuis son origine, plusieurs variantes de construction, représentant autant d'expressions diverses d'un même principe, ont été réalisées. Ce principe est le suivant :

Entre les parois d'un tube métallique, resserrées de façon à ne plus laisser entre elles qu'un intervalle très étroit, et, préalablement chauffées à une température convenable, on injecte, à l'aide d'une pompe un mince filet d'eau.

Cette eau, laminée entre des surfaces chaudes, se transforme instantanément en vapeur, laquelle est ensuite

employée dans les conditions ordinaires, soit pour actionner une machine, soit pour tout autre usage.

Le resserrement caractéristique du tube Serpollet a pour but d'empêcher le phénomène connu en physique sous le nom de *caléfaction*, phénomène qui peut causer, comme on le sait, la production subite et dangereuse de vapeurs à des pressions si intenses que, lorsqu'il vient à se produire accidentellement dans les chaudières ordinaires, il cause presque toujours leur explosion.

Par un écrasement méthodique de l'eau entre les parois du tube de son système, M. Serpollet a su empêcher la formation de gouttelettes liquides à l'état sphéroïdal et, grâce à ce dispositif, la caléfaction se trouve pour ainsi dire confinée dans des conditions de sécurité absolue.

Il convient également d'ajouter que la vapeur qui sort de ces tubes est surchauffée, c'est-à-dire amenée à une température bien supérieure de celle de la vapeur saturante à la pression à laquelle elle est employée. Il en résulte donc que, pendant la période d'admission dans le cylindre de la machine, la vapeur, soumise à l'action des parois froides du moteur, peut se refroidir beaucoup sans que pour cela il y ait formation de *rosée* sur ces parois. Lorsque l'on emploie des vapeurs saturées fournies par les chaudières ordinaires, ce phénomène se produit toujours et, comme une partie seulement de cette eau condensée est vaporisée à nouveau pendant la détente, toute la chaleur qu'on a dépensée dans la chaudière pour vaporiser cette eau rémanente est totalement perdue au point de vue du travail fourni dans le cylindre. C'est une des raisons pour lesquelles un kilogramme de vapeur surchauffée produit plus de travail dans un

moteur qu'un kilogramme de vapeur saturante ordinaire. Cette surchauffe, que certains constructeurs réalisent à l'aide d'appareils spéciaux, est une des caractéristiques du générateur Serpollet. Comme organes essentiels, le générateur Serpollet comporte deux pompes alimentaires : l'une dite *pompe à main* P sert à la mise en marche pour injecter dans le générateur les premières gouttes d'eau ; l'autre, dite *pompe automatique* P', est actionnée par la machine elle-même et se substitue à la pompe à main dès les premiers tours de la machine.

La vitesse du moteur dépend de la quantité de vapeur produite, c'est-à-dire de la quantité d'eau injectée. On règle fort simplement cette dernière à l'aide d'un simple robinet à dérivation dit *pointeau régulateur* E. Intercalé entre le générateur et les pompes, il permet à l'eau refoulée par celles-ci de se rendre soit seulement au générateur, soit seulement au réservoir d'eau d'alimentation, soit partiellement au générateur et partiellement au réservoir.

Dans le premier cas, toute l'eau débitée par la pompe est transformée en vapeur et la machine fonctionne alors en travail maximum.

Dans le deuxième cas, le générateur n'est plus alimenté et l'eau refoulée par la pompe fait simplement retour au réservoir ; la machine ne produit plus de travail.

Enfin, dans le troisième cas, l'eau injectée va en partie au générateur et en partie au réservoir.

En faisant varier par la manœuvre du pointeau la proportion relative de ces deux quantités, on peut faire varier le travail de la machine de zéro à son maximum.

On se rendra facilement compte de ce que nous venons

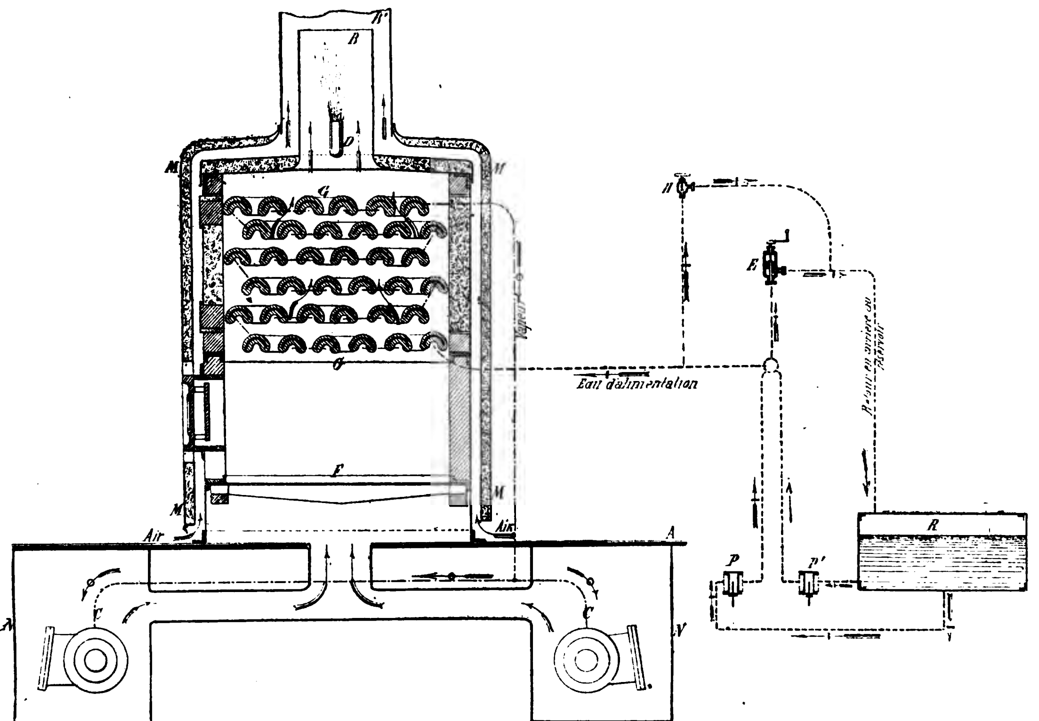


Fig. 24. — Principe du générateur Serpollet.

d'expliquer en examinant la Fig. 24 qui représente schématiquement la disposition générale du générateur des pompes et du pointeau.

Dans les appareils de locomotion, voitures, tramways, etc., c'est le mécanicien qui doit régler le travail de la machine en agissant sur le pointeau.

Quand, au contraire, la machine doit conserver une vitesse constante, comme dans les machines fixes, le pointeau est remplacé par une soupape qui, en ouvrant sous une pression déterminée le tuyau de retour de l'eau au réservoir, limite la pression de l'injection et par suite celle de la vapeur.

Description du générateur Serpollet. — Le tube constitutif du générateur Serpollet était primitivement fabriqué comme suit : Un tube rond en acier ou en cuivre, à parois de 5 à 12 millimètres d'épaisseur, était aplati de façon à ne plus laisser entre ses deux faces intérieures qu'un intervalle dit *capillaire* d'environ 1 millimètre.

Ce tube était ensuite enroulé en une longue spire et le générateur se composait d'une ou plusieurs de ces spires convenablement superposées au-dessus d'un foyer quelconque, puis raccordées en tension.

Malheureusement, cette forme spirale présentait une grande difficulté de fabrication régulière ; d'où il résultait que le tube se bouchait facilement lorsque le vide intérieur n'avait pas été rigoureusement obtenu.

En outre, cette forme se prêtait mal à la combinaison d'un générateur d'une surface de chauffe un peu considérable ; d'où une limite assez restreinte imposée à la puissance des appareils.

On essaya de remplacer la spire par des tubes droits à section méplate, disposés parallèlement et en étages, au-dessus du foyer.

Mais ces tubes manquaient de résistance contre la pression intérieure de la vapeur. Leurs parois en effet travaillaient à la flexion avec des chances de déformation d'autant plus grandes que le bras de levier formé par la largeur du tube était plus grand ; dès lors, si, par une négligence du chauffeur, le tube venait à être trop fortement chauffé, ses parois se gonflaient, malgré tous les meilleurs systèmes d'entretoisement, et le générateur était détérioré.

Pour obvier à cet inconvénient, M. Serpollet dut chercher la résistance nécessaire à ses tubes dans leur forme elle-même, et il eut l'heureuse idée de leur donner la nouvelle forme en section d'un C renversé, ou d'une gouttière retournée, représentée sur la Fig. 25.

Ces tubes sont accouplés deux à deux, comme le représente la Fig. 25, et chaque couple constitue un élément Serpollet.

L'élément est formé d'un tube d'acier primitivement cylindrique, étiré dans sa partie médiane et à ses deux extrémités, puis embouti dans ses parties intermédiaires à l'aide d'une matrice en forme de C. La partie médiane est ensuite cintrée, comme le montre la Fig. 25 bis, et les deux extrémités sont filetées.

Les éléments ainsi formés sont placés dans un foyer disposé de telle sorte que les parties embouties soient seules exposées à l'action des gaz chauds, les coude-étirés étant soumis à une température beaucoup moindre, et les extrémités filetées se trouvant tout à fait à

l'extérieur de l'enveloppe du foyer. Sur ces extrémités viennent se visser des écrous facilement abordables, destinés à maintenir les raccords à garniture métallo-plas-

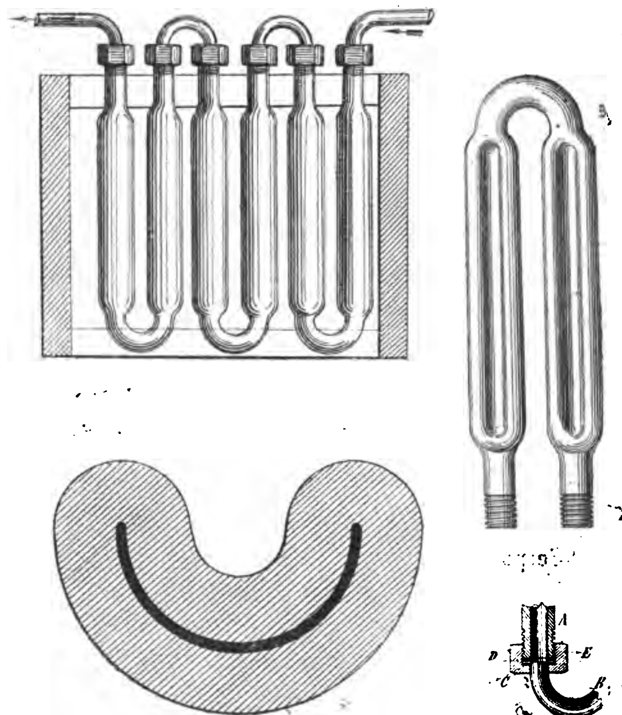


Fig. 25. — Tube Serpollet. Fig. 25 bis. — Détail d'un joint.

tiques qui réunissent l'un à l'autre tous les éléments en tension.

Comme il est facile de s'en rendre compte, les parois ainsi cintrées du nouveau tube Serpollet ne travaillent

plus à la flexion ; mais, l'une à l'extension et l'autre à la compression. Théoriquement, elles peuvent être considérées comme indéformables à froid ; pratiquement, elles supportent sans inconvénient des pressions de 100 atmosphères et au-delà, même sous des températures très élevées.

Plusieurs essais officiels l'ont démontré, entre autres le suivant : à l'une des extrémités d'un élément on avait fait un joint plein, et l'autre extrémité était reliée à une pompe d'épreuve. Lorsque l'élément placé dans un feu de forge eût atteint la température du rouge cerise, soit 800° à 900°, on y refoula de l'eau, et la pression atteignit à plusieurs reprises 170, et même 200 atmosphères; le tube ne manifesta pourtant aucune déformation appréciable à la jauge.

En pratique, ces éléments sont éprouvés par le Contrôle des Mines à 100 et timbrés à 94 atmosphères [1].

En outre de cet avantage essentiel d'indéformabilité, les nouveaux éléments Serpollet en présentent un autre très important, celui de pouvoir être facilement groupés suivant diverses combinaisons favorables à un bon chauffage et appropriées aux conditions particulières de chaque application.

D'autre part, comme on peut les fabriquer en dimensions plus ou moins grandes et les mettre plus ou moins nombreux, on est maître maintenant de constituer dans de bonnes conditions un faisceau tubulaire à surface de chauffe considérable, capable par conséquent de produire une vaporisation abondante.

---

[1] Décision ministérielle du 24 octobre 1888

C'est ainsi que les générateurs Serpollet, qui, primitivement n'étaient applicables qu'à des moteurs de 2 à 3 chevaux, atteignent actuellement des puissances normales de 50 chevaux, et même davantage, et que, au lieu de ne pouvoir actionner qu'un petit tricycle de 300 kg (1888), ils enlèvent à rapide allure des trains-tramways de plus de 20 000 kg.

Les descriptions précédentes permettent de prévoir les avantages du générateur Serpollet au point de vue de la traction.

Il est d'une simplicité extrême et ne nécessite, ainsi que nous l'avons déjà dit, ni manomètre, ni soupape, ni niveaux d'eau.

Il est également très robuste et d'une souplesse remarquable. Si, par exemple, on veut monter une côte très dure ou démarrer dans une ornière, on pourra facilement faire produire au générateur de la vapeur à une pression triple et même quadruple de la pression normale de marche, ce qui permettra de surmonter presque tous les obstacles.

A cause du passage rapide de la vapeur dans les tubes ceux-ci s'encrassent difficilement et, lorsque cela arrive par l'emploi d'une eau trop calcaire, il est aisé de les démonter et d'effectuer le nettoyage en peu de temps.

Le générateur est peut-être un peu lourd et c'est là un inconvénient pour la locomotion. A première vue, l'épaisseur des tubes paraît exagérée et l'on serait tenté de diminuer cette épaisseur. Ce serait une erreur grave, car c'est le poids du métal de la chaudière qui est une des conditions essentielles de son fonctionnement régulier. C'est son *volant de chaleur* qui joue le même rôle

que l'eau dans les chaudières ordinaires, en sorte que, si l'on employait des tubes minces, la pression tomberait considérablement à chaque injection d'eau, ce qui rendait très irrégulier le débit du générateur.

La température excessive de la vapeur produite est également un petit inconvénient au point de vue de la durée du moteur. Cette température qui, du reste, entraîne certains avantages que nous avons signalés, a l'inconvénient de vaporiser les huiles qui servent à graisser le moteur. Il en résulte une légère odeur qu'il est difficile d'éviter et une usure un peu plus considérable des parties frottantes du moteur qu'avec la vapeur saturante provenant des générateurs ordinaires.

Déjà un assez grand nombre de tramways automobiles, système Serpollet, sont en usage à Paris. Nous décrirons le type normal de 50 places adopté par la *Cie des tramways de Paris et du département de la Seine.*

Chaque automobile doit pouvoir remorquer, à des vitesses conformes à l'horaire sur rampes de 50 millimètres par mètre, une autre voiture contenant le même nombre de voyageurs.

La charge totale des trains sera donc approximativement :

Automobile	8 000^{kg}
Voiture d'attelage	3 500
103 voyageurs (conducteurs compris) . .	7 900
Divers	100
	19 500^{kg}

Rayon minimum des courbes	15^{m}
Ecartement des essieux	1^{m},9
Diamètre des roues	0^{m},80

Générateur. — Pour obtenir une surface de chauffe suffisante sans toutefois avoir un générateur trop haut, on a été amené à adopter le dispositif représenté sur

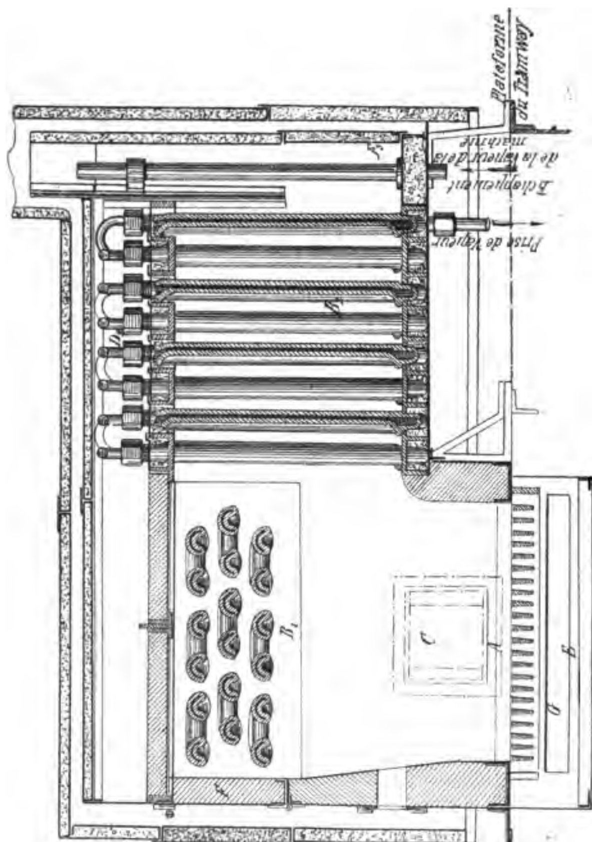


Fig. 26. — Générateur Serpollet (Coupe longitudinale).

les Fig. 26, 27 et 28. Le faisceau tubulaire se compose de deux parties : l'une à tubes horizontaux A, chauffés

par radiation directe du foyer ; l'autre à tubes verticaux B, que les flammes ou gaz chauds de la combustion se rendant à la chaudière C, traversent horizontalement comme ils traverseraient la chaudière tubulaire d'une locomotive ordinaire. Pour mieux utiliser la chaleur des gaz, on a disposé les tubes en quinconce ainsi que le montre la Fig. 26.

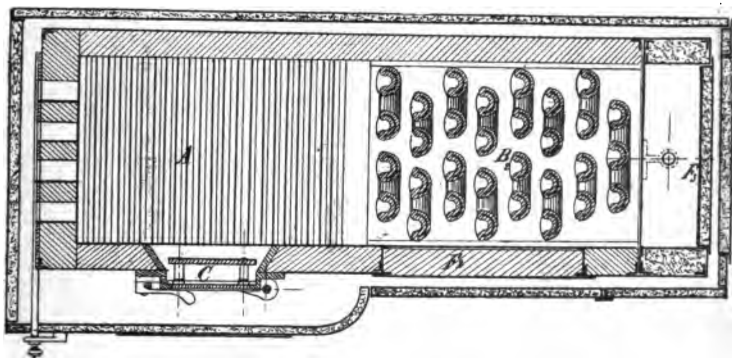


Fig. 27. — Générateur Serpollet (coupe transversale).

Sur la face d'avant et sur les deux faces latérales du générateur, des portes permettent soit d'enlever la suie qui peut se déposer sur les tubes, soit de resserrer les raccords en cas de fuite de vapeur, soit enfin de couper le tirage du foyer en déterminant une introduction d'air froid au niveau des tubes.

Les dimensions du générateur sont les suivantes :

Hauteur $1^m,08$
En plan $1^m,75 \times 0^m,68$.

La surface de grille est d'environ $0^{m2},28$ et la surface

de chauffe de 4 mètres carrés environ. La grille a donc une valeur relativement grande à côté de la surface de chauffe (voir chapitre III); on a eu recours à cet artifice afin de pouvoir en cas de besoin produire plus de vapeur que le régime normal de la chaudière ne le comporte.

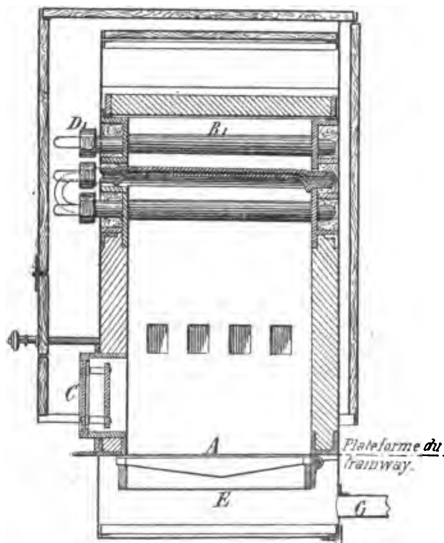


Fig. 28. — Générateur Serpollet (coupe transversale).

Le poids du générateur est d'environ 600 kg et peut développer normalement une vingtaine de chevaux à la pression de 5 atmosphères. En cas de besoin, elle peut marcher pendant un certain temps à 15 atmosphères et même plus; dans ces conditions elle peut faire donner au moteur 60 chevaux si ce dernier a été construit en conséquence.

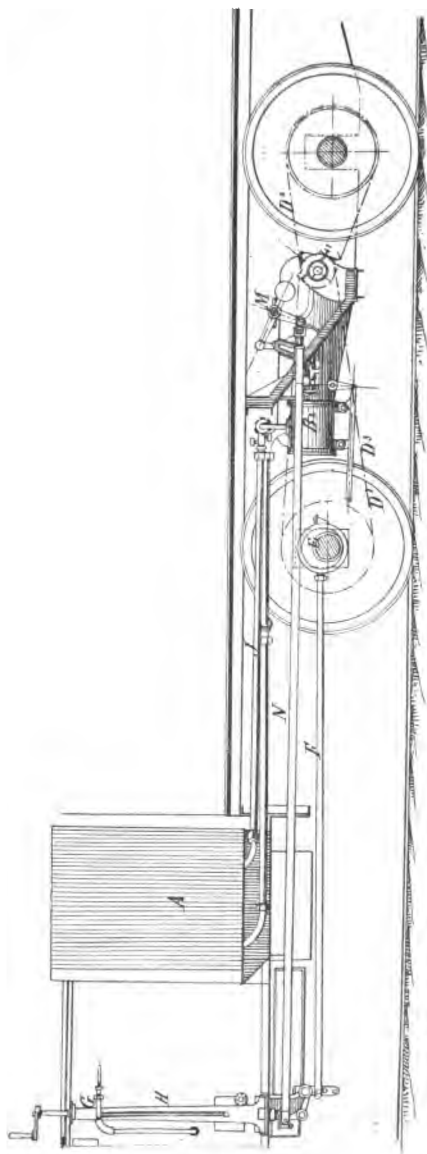


Fig. 29. — Vue du mécanisme d'un tramway Serpollet.

Ainsi que le représente la Fig. 29, la machine est à deux cylindres et se trouve placée presque entièrement entre les roues de façon à être facilement accessible.

L'arbre de couche porte trois engrenages en acier qui, par de fortes chaînes de *Gall*, transmettent le mouvement d'un côté à l'essieu d'avant, de l'autre à l'essieu d'arrière dans le rapport de vitesses d'un tour d'essieu par trois tours de machine.

Le diamètre d'alésage des deux cylindres est de 150 millimètres et leur course de 160 millimètres.

La machine est pourvue d'un changement de marche à coulisse et le graissage se fait automatiquement sur l'arrivée de vapeur.

Pour qu'ils soient bien préservés de la poussière et de la boue, les moteurs sont complètement renfermés dans deux boîtes étanches en tôle qui, reliées au foyer par un tube convenablement disposé, servent aussi à supprimer autant que possible les odeurs d'huile brûlée.

C'est par ce tuyau, en effet, que se produit l'appel d'air nécessaire à la combustion, de sorte que les vapeurs d'huile sont entraînées vers le foyer.

Sur l'échappement de la vapeur se trouve branché un tuyau qui parcourt toute la voiture et sert de chauffage en hiver. En été, on ferme un robinet d'admission situé au commencement du tuyau.

Enfin, sur l'essieu d'avant se trouve calé un excentrique qui, à l'aide d'une tige T et d'un levier L, actionne la pompe automatique P. La pompe à main P′, servant à la mise en route, est commandée par un levier N bien à la portée du mécanicien. Pour simplifier le mécanisme,

les pompes P et P' ne forment qu'une pièce de façon à utiliser le même tuyautage.

Freins. — La voiture de M. Serpollet est munie de deux freins : un frein ordinaire système Lemoine tel qu'on l'emploie sur les omnibus et un frein à vis dit *frein de sûreté*. Le premier de ces appareils sert couramment pour arrêter la voiture, tandis que le second ne sert que lorsque l'on descend une pente rapide de façon à ne pas avoir à appuyer continuellement le pied sur la pédale actionnant le frein à corde. Il sert également en cas de rupture du frein ordinaire.

Conduite de la voiture. — Placé sur la plate-forme d'avant, le mécanicien n'a que quatre appareils sous la main.

La pompe à main ;

Le pointeau régulateur ;

Le levier de changement de marche ;

Le frein.

Quelques coups de pompe à main suffisent pour la mise en marche ; à partir de ce moment le pointeau seul suffit pour faire varier la vitesse du véhicule.

Les arrêts s'effectuent au moyen du frein à pédale et, dans la plupart des cas, lorsque les arrêts ne sont pas longs, il n'est pas nécessaire de mettre le levier de changement de marche au point mort. Pendant la durée de l'arrêt, la vapeur augmente de pression, de sorte que, lorsque le mécanicien lâche la pédale, la voiture démarre et se remet en marche.

Cette facilité de manœuvre a une grande importance au point de vue de la locomotion automobile à Paris ; elle est très appréciée par les conducteurs des tramways

Serpollet qui, la plupart du temps, ne sont que d'anciens cochers de tramways.

Si l'arrêt doit durer longtemps, on ramène la machine au point mort. Le chargement de la grille se fait avant de partir, et pendant un parcours de 10 kilomètres le mécanicien n'a pas à toucher à son feu. En fait, on recharge le foyer à chaque tête de ligne et on ne s'en occupe plus pendant le parcours.

Le prix de la voiture kilomètre est facile à établir, vu que l'on dépense environ 1^{kg},7 de coke de four par kilomètre. Si l'on compte le coke au prix de 20 francs la tonne, on arrive au chiffre de 4 centimes par voiture kilomètre. Même, en doublant cette somme on arrive encore à un chiffre très bas pour la traction par le système Serpollet.

On peut évidemment construire sur ce principe des voitures de tous genres et de toutes dimensions; la description du tramway avec moteur système Serpollet nous semble suffisante pour bien faire comprendre au lecteur toutes les applications possibles du système.

Nous passerons maintenant à l'étude du tracteur de M. Maurice Leblant, qui est une application des plus réussies du générateur Serpollet à la locomotion sur route.

VOITURES ET TRACTEUR, SYSTÈME MAURICE LE BLANT

C'est peut-être à Leblant que nous devons les véhicules à vapeur les mieux compris. Cet ingénieur ne s'est pas attaché à réaliser des voitures de plaisance extra-

légères, car dès le début il avait compris que, fatalement, les moteurs à pétrole résolvaient la question beaucoup plus avantageusement que les moteurs à vapeur. Ces derniers, exigeant un approvisionnement assez considérable d'eau et de charbon et l'emploi d'un générateur relativement lourd, ne peuvent lutter au point de vue du poids avec les moteurs à pétrole. Au point de vue de la propreté, le moteur à pétrole l'emporte également sur celui à vapeur. C'est pour les véhicules lourds, les omnibus, les voitures destinées à livrer des marchandises ou à effectuer des services entre villes ou villages où l'esthétique n'est qu'une question secondaire, que Leblant a vu une application pratique du moteur à vapeur.

Au concours du *Petit Journal* (22 juillet 1894) le char de M. Leblant obtint le 3e prix et effectuait très honorablement le parcours de Paris à Rouen.

Voici du reste quelques chiffres relatifs à ce véhicule :

La voiture pesait à vide, sans outils ni frein. . .	2 660 kg
Outils et frein.	100 —
Dix voyageurs, à 70 kilos.	700 —
Chauffeur	70 —
Eau (600 litres)	600 —
Charbon	200 —
Total.	4 330 kg

Pendant le parcours de Paris-Rouen on usa approximativement 3 kg de charbon par kilomètre, chiffre relativement élevé, dû au mauvais état de la grille. Sur un parcours de 40 kilomètres on ne dépasse pas avec la même voiture une consommation de 2kg,5 par kilomètre. On compte généralement sur une dépense de 8 kg

d'eau par kilomètre; il s'en suit donc qu'avec l'approvisionnement maximum indiqué plus haut, on peut faire d'une traite environ 75 kilomètres.

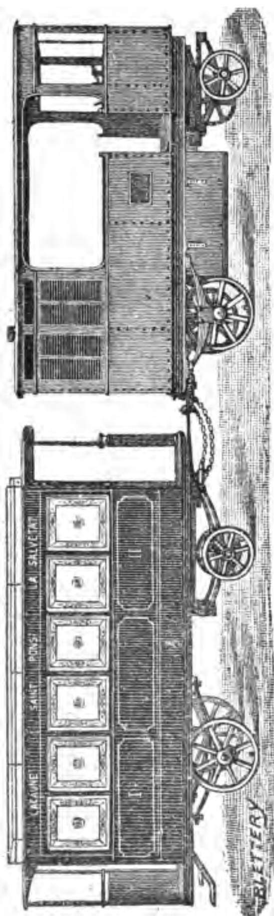


Fig. 30. — Tracteur de M. Leblant.

Si l'on compte le charbon au prix de 40 francs la tonne, on arrive à une dépense de $0^{fr},24$ par kilomètre, soit $0^{fr},025$ par personne transportée.

Depuis cette époque (1894) M. Leblant n'a pas modifié sensiblement ses véhicules, si ce n'est les roues motrices qu'il a rendues plus petites afin de les rendre plus résistantes à égalité de poids. Il emploie des moteurs excessivement puissants de façon à pouvoir gravir les côtes les plus dures et ne pas se trouver arrêté par une route en mauvais état ou détrempée. Comme nous l'avons vu, le générateur Serpollet se prête admirablement aux à-coups les plus

rudes et permet à un moment donné de doubler et même de tripler la pression normale de marche.

La Fig. 30 représente un des derniers tracteurs construits par Leblant, qui s'est mis gracieusement à notre disposition pour nous donner quelques chiffres relatifs au moteur et à la chaudière.

Chaudière. — Le générateur est du genre Serpollet, mais les tubes sont rangés différemment et ont une longueur de 1^{m},20 que l'on n'atteint généralement pas dans les générateurs de cette espèce. Les tubes du bas les plus chauffés sont ronds et disposés en travers, de façon à avoir une longueur plus faible que les tubes du haut, qui sont en long. Cette disposition a été adoptée pour éviter qu'une dilatation exagérée des tubes fortement chauffés ne leur fasse prendre une courbure nuisible. La Fig. 31 montre une section de ces tubes : *a* est un noyau intérieur maintenu de place en place par des tétons. Les tubes supérieurs sont courbés en forme de C, comme ceux que M. Serpollet emploie dans ses chaudières (voir p. 96).

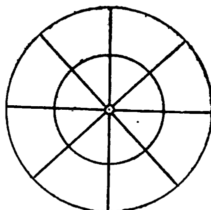


Fig. 31.

La surface de chauffe est de 12 mètres carrés et la surface de grille de 60 décimètres ; le rapport de la surface de chauffe à la surface de grille est donc de $\frac{1}{20}$, ce qui est très élevé ; d'ordinaire ce rapport ne dépasse pas $\frac{1}{30}$. (Voir chapitre III, page 51). M. Leblant a forcé un peu la surface de grille de façon à prévoir les débits exagérés que l'on demande souvent au générateur.

La chaudière est, en outre, munie d'un jet de feu à vis, et l'échappement qui se fait dans la cheminée est destiné à activer le tirage. Cet échappement est réglable à volonté suivant la puissance requise. Le cendrier peut être clos.

L'alimentation se fait par plusieurs injections d'eau ; plusieurs prises de vapeur sont pratiquées dans le générateur. On dispose, en outre, de deux pompes alimentaires et d'une pompe à main pour la mise en marche. C'est un petit cheval à deux cylindres qui actionne les deux pompes alimentaires. Le retour de l'eau à la bâche se fait par un clapet placé sur les injecteurs et se manœuvre à l'aide d'un levier que l'on actionne avec le pied. (Voir les figures relatives à la chaudière Serpollet).

Moteur. — Le moteur est d'une puissance maxima de 60 chevaux, alors que la chaudière précédemment décrite ne peut fournir régulièrement de la vapeur que pour 40 chevaux. Cette contradiction apparente a sa raison d'être, ainsi que nous l'avons déjà dit. En régime normal, sur terrain plat, le moteur ne fonctionnera qu'au tiers peut-être de sa puissance normale ; sur une côte très dure on pourra avoir besoin des 60 chevaux que le moteur peut donner, et nous savons que le générateur avec une souplesse merveilleuse pourra fournir de la vapeur à haute pression pendant le temps relativement court nécessaire à la montée et même dépasser de beaucoup le débit nécessaire au moteur pour qu'il puisse donner ses 60 chevaux.

Ce dernier est à deux cylindres agissant sur des manivelles calées à 90° de façon à éviter le point mort. Cha-

que cylindre a 200 millimètres de diamètre et une course de 220 millimètres. L'admission de la vapeur se fait à l'aide de tiroirs cylindriques et, par conséquent, équilibrés; la distribution est obtenue à l'aide du système Walcharts qui a l'avantage de supprimer l'emploi des coulisses ordinaires tout en permettant de marcher à divers degrés de détente et de renverser aisément le sens de rotation du moteur.

Pour plus amples renseignements sur le système Walcharts, nous renvoyons aux ouvrages spéciaux publiés sur la distribution de la vapeur.

Nous dirons enfin que le moteur fournit ses 60 chevaux à la vitesse de 180 tours par minute à la pression d'admission de 10 kg par centimètre carré. En marche normale la puissance requise n'est que de 20 chevaux et le degré d'admission tombe à environ 15 %. Les divers organes et le bâti du moteur sont en acier coulé. Seul, le corps des cylindres est en fonte ainsi que les segments des pistons. Le poids total du moteur est de 900 kg.

Les Fig. 32 et 33 nous montrent la disposition générale que M. Leblant a adoptée. Les chaînes de transmission attaquent les roues d'arrière du tracteur et travaillent à 2000 kg. Elles peuvent supporter jusqu'à 5000 kg sans se rompre. L'avant-train tout entier est mobile et commandé par deux roues dentées et une chaîne ordinaire. Ce genre de direction donne, paraît-il, de très bons résultats et permet de tourner presque sur place. On aurait pu faire usage d'un avant-train rigide en se servant d'un essieu brisé permettant de donner une inclinaison variable aux deux roues d'avant comme dans certaines voitures que nous étudierons ; mais, à notre avis, ce sys-

tème de roues montées en porte-à-faux, très pratique pour

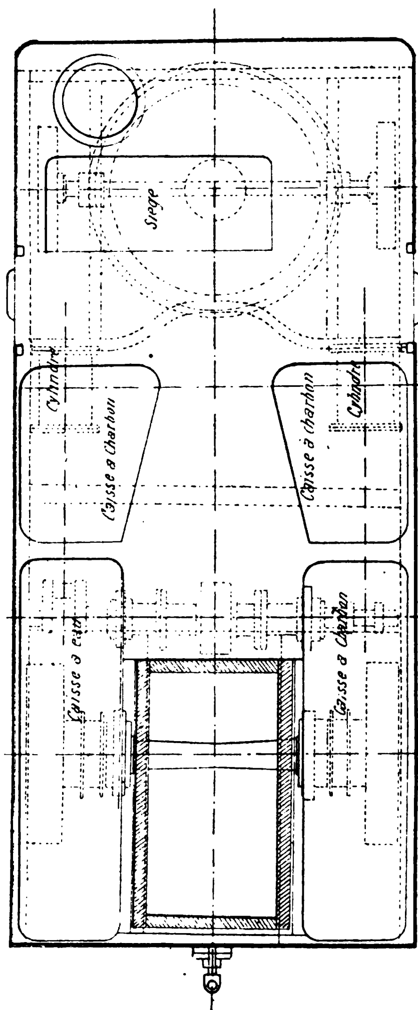


Fig. 32. — Tracteur de M. Leblant (vue en plan).

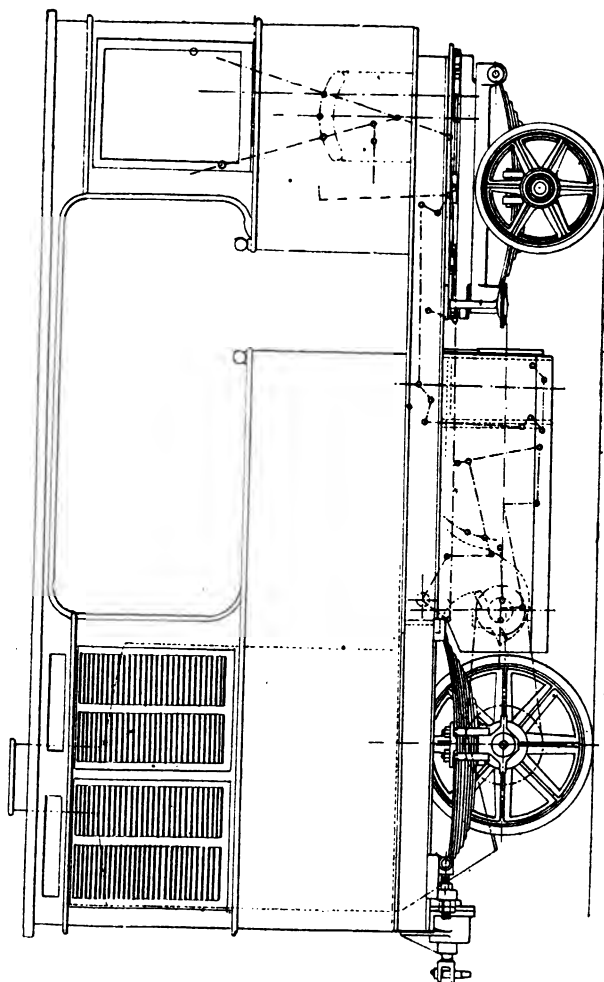


Fig. 33. — Tracteur de M. Leblant (élévation).

les petits véhicules, serait peut-être dangereux pour de lourds tracteurs.

Voici, pour terminer ce qui a trait aux voitures de M. Leblant quelques chiffres relatifs à son tracteur de 60 chevaux :

Poids à vide	6 500 kg	tracteur.
Provision d'eau maximum . . .	650 —	tracteur.
Provision de charbon maximum .	250 —	tracteur.
Poids à vide	1 700 —	voiture remorquée.
Provision d'eau maximum . . .	600 —	voiture remorquée.
Bagages.	600 —	voiture remorquée.
Vingt voyageurs.	1 500 —	voiture remorquée.
Total.	11 800 kg	

Il est facile de déduire de ces chiffres et des formules que nous avons établies dans le courant du chapitre I, que, sur une route offrant un coefficient de traction de 0.2 on peut atteindre une vitesse de 20 kilomètres à l'heure avec une puissance de 30 chevaux environ.

Dans notre cas on a, en effet :

$$\text{Effort de traction} = 0{,}2 \times 11\,800 \text{ kg} = 236 \text{ kg}.$$

$$\text{Vitesse en mètres à obtenir} = \frac{2\,000}{60 \times 60} = 5^{\text{m}}{,}55.$$

$$\text{Puissance requise} = \frac{236 \times 5{,}55}{75} = 31 \text{ chevaux environ.}$$

Les voitures automobiles de 20 places de M. Leblant pèsent à vide environ 7 000 kg et consomment 25 litres d'eau par kilomètre.

Ces voitures nous paraissent tenir une des premières places parmi les véhicules à vapeur. Elles sont

toutes d'une construction très soignée et peuvent rendre de bons et longs services à ceux qui auront assez d'initiative pour substituer la traction mécanique à la traction animale. Comme les voitures Serpollet, elles ont un avantage énorme sur leurs autres concurrents à vapeur : elles peuvent circuler dans l'intérieur des villes, sans s'astreindre aux règlements sévères qui régissent les générateurs à vapeur ordinaires. C'est presque un point de vie et de mort.

TRACTEURS A VAPEUR DE MM. DE DION ET BOUTON

MM. de Dion et Bouton ont cru devoir appliquer leur chaudière, non pas à des voitures automobiles proprement dites, mais à des tracteurs destinés à tirer une voiture de remorque dont la forme peut être quelconque. C'est *un cheval* qu'ils ont voulu créer, un cheval de fer et d'acier, très robuste et insensible à la fatigue, mais qui a fort triste mine lorsqu'on l'attèle à une voiture légère et élégante. C'est un hippopotame tirant une pirogue à sa suite et, à notre avis, rien n'est plus laid que de voir ce monstre à vapeur souffler et grincer pour emmener avec lui un coupé ou un landeau.

Nous ne critiquons pas le tracteur lui-même qui certainement est appelé à rendre de grands services, mais c'est son application à la locomotion de plaisance. Pour faire un service de transport entre deux localités, pour livrer des marchandises pesantes et tirer de lourds camions, son avenir nous semble tout indiqué, bien qu'il ne soit pas capable, comme le tracteur de M. Leblant, de

donner de ces coups de colliers énergiques souvent nécessaires pour démarrer dans les endroits difficiles.

Générateur de Dion et Bouton. — La chaudière de MM. de Dion et Bouton constitue le point essentiel de leur tracteur. Sous un très petit volume elle permet d'obtenir une très forte vaporisation. La Fig. 34 représente une coupe du générateur. Le combustible est introduit

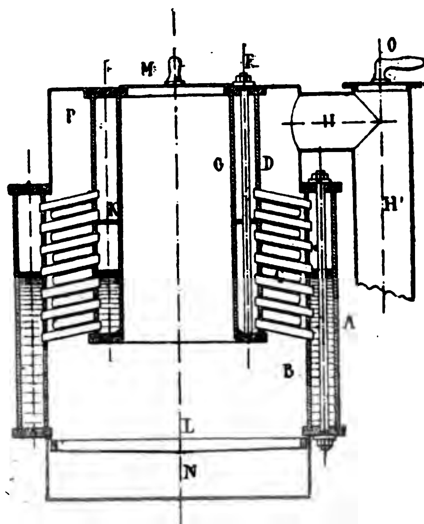


Fig. 34. — Chaudière de MM. de Dion et Bouton.

par le tube central G fermé par un chapeau M ; de là il tombe sur la grille L et chauffe l'eau contenue dans les espaces annulaires compris entre les tôles A et B, G et D. Ces deux réservoirs sont réunis par une série de tubes C disposés sur le parcours des gaz de façon à enrayer leur marche et à utiliser leur chaleur. Un dia-

phragme K placé entre GD oblige la vapeur à passer par les tubes supérieurs du faisceau, ce qui la sèche complètement. Pour qu'il n'y ait pas de condensation sur les parois du moteur, ce qui amènerait des pertes considérables, ainsi que nous l'avons déjà vu, on surchauffe la vapeur avant de l'envoyer dans le cylindre. A cet effet, on fait passer le tuyau d'amenée de vapeur dans la masse de fonte constituant l'enveloppe du foyer.

Les gaz de combustion sont conduits au moyen d'une cheminée HH' à l'arrière de la voiture.

A cause de la disposition adoptée, les tubes C sont parcourus par un courant d'eau assez fort, ce qui a l'avantage de faciliter la vaporisation et d'éviter une incrustation trop rapide des tubes. Ce déplacement d'eau prend naissance sous l'effet de la différence de température des tubes inférieurs et supérieurs ; il est aisé de se rendre compte qu'en GD le courant liquide sera ascendant, tandis qu'en AB il sera descendant.

Voici quelques chiffres (1) qui permettent d'apprécier les avantages réels de cette chaudière :

Surface de chauffe $2^{m^2},116$
Surface de grille $0^{m^2},173$
Poids à vide 240 kg.

Elle peut alimenter normalement un moteur de 18 chevaux, ce qui est un résultat très remarquable pour une chaudière ne pesant que 240 kg.

On peut vaporiser en moyenne 6 kg d'eau par kilo-

(1) Locomotion automobile.

gramme de coke ; le rendement de la chaudière est donc excellent et présente peut-être sous ce rapport un léger avantage sur les générateurs Serpollet.

Moteur. — Le moteur est Compound ainsi que le représentent les Fig. 35 et 36. Le grand cylindre a un diamètre de 180 millimètres et une course de 130 millimètres. Le diamètre du petit cylindre n'est que de

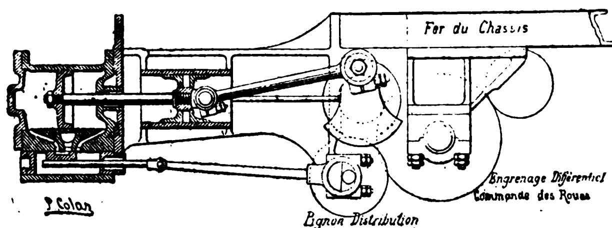


Fig. 35. — Moteur de Dion (élévation).

120 millimètres. Comme dans toutes les machines de ce

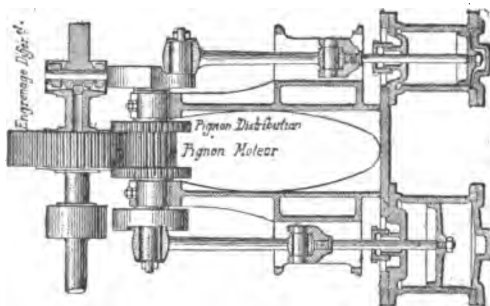


Fig. 36. — Moteur de Dion (plan).

genre, les volumes du grand et du petit cylindre ont été

déterminés de façon à ce que le travail produit par chacun d'eux soit le même.

L'admission dure pendant les $\frac{8}{10}$ de la course dans le petit cylindre lorsque la machine tourne à sa vitesse normale de 330 tours par minute. Le tracteur peut alors marcher à une vitesse de 20 kilomètres à l'heure et développer une puissance de 18 chevaux.

Au démarrage et pour gravir des côtes, on fait manœuvrer un robinet introduisant la vapeur à haute pression dans le grand cylindre.

Le pignon moteur commande un engrenage différentiel qui permet aux roues de prendre des vitesses variables. Afin de supprimer les chaînes, MM. de Dion et Bouton ont eu recours à un assemblage Cardan pour relier l'arbre moteur à ceux qui commandent les roues motrices. La fusée qui porte la roue proprement dite est creuse, et le bout d'arbre qui est commandé par le dernier joint Cardan passe à l'intérieur de cette fusée pour venir attaquer extérieurement le moyeu de la roue.

Voici en quelques mots le principe du joint Cardan. Deux arbres A et B (Fig. 37) sont rendus solidaires par l'intermédiaire d'un manchon M. Chacun des arbres porte deux tourillons *a* et *b*, *c* et *d* qui viennent se poser à angle droit dans quatre palliers ménagés dans le manchon *c*. Un canal circulaire G sert au graissage, qui est d'autant plus efficace que les arbres tournent plus vite, puisque l'huile est chassée sur les tourillons par l'effet de la force centrifuge.

Deux joints de cette espèce disposés entre deux arbres permettent à l'un d'eux de se déplacer librement par

rapport à l'autre. Les plateaux constituant ces joints décrivent un cercle égal au déplacement relatif d'un plateau par rapport à l'autre. Grâce à ce dispositif, le tracteur peut se déplacer indépendamment du moteur tout en évitant l'emploi de chaînes qui souvent causent des ennuis.

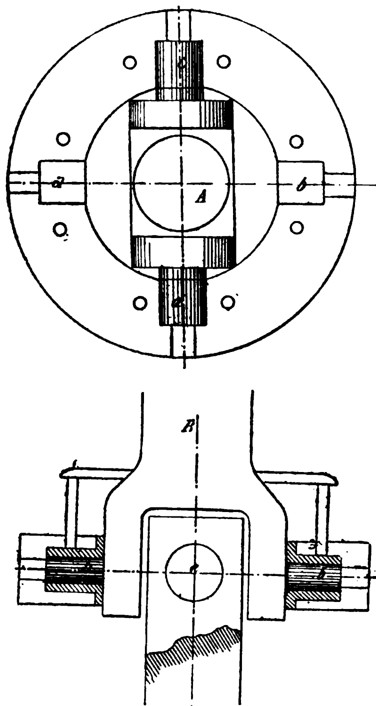


Fig. 37. — Joint à la Cardon.

Pour nous résumer et faire apprécier la puissance des tracteurs de MM. de Dion et Bouton, nous dirons que le n° 1 pesant 2 000 kg peut remorquer une charge de 1 200 kg à la vitesse de 20 kilomètres à l'heure. La consommation est d'environ $0^{fr},10$ par kilomètre.

Le tracteur n° 2 pèse 4 000 kg et peut tirer un convoi de 10 000 kg à une vitesse de 8 kilomètres à l'heure.

Nous rappellerons encore les grands services que peuvent rendre ces tracteurs puissants pour traîner de lour-

des charges telles que caissons d'artillerie, camions, etc., qui nécessitent l'emploi d'un grand nombre de chevaux difficiles à conduire et qui souvent n'arrivent que très péniblement à bout de leur rude besogne. Combien serait-il plus simple de faire usage d'un tracteur tel que celui que nous venons de décrire! Non seulement cela serait plus simple, mais cela serait beaucoup plus économique. Sous tous les rapports on aurait avantage à les employer; mais la vieille routine est là, et ce n'est pas du jour au lendemain qu'on peut surmonter l'inertie de l'habitude.

Au point de vue de la voiture de plaisance, nous rejetons absolument le tracteur pour les raisons que nous avons données plus haut.

LES VOITURES BOLLÉE

Ce ne fut qu'en 1875 que M. Amédée Bollée, du Mans, put s'occuper sérieusement du problème de la locomotion sur route. C'est certainement à lui que nous devons les premières voitures à vapeur réellement pratiques, et la place que prit dans la course de Paris-Bordeaux son omnibus à vapeur *La Nouvelle* construit en 1880 montre à quel degré de perfection ce mécanicien était déjà arrivé à cette époque. C'est en effet, avec une voiture déjà ancienne que le fils de M. Bollée se classa neuvième dans la course, malgré le malheureux accident qui, dès le début avait mis *La Nouvelle* presque hors de combat. En arrivant 9e, la voiture de M. Bollée se classait à la tête des vaporistes qui effectuèrent le parcours.

Direction Bollée. — Tout d'abord M. Bollée s'attacha à perfectionner la direction des véhicules à quatre roues. Il remarqua avec raison, qu'un avant-train mobile autour d'une cheville ouvrière n'offrait pas une grande stabilité. Par exemple, dans le cas limité où les roues d'avant seraient tournées de 90 degrés autour de la cheville, le système n'offrirait pas plus de stabilité qu'un véhicule à trois roues.

C'est dans le but de remédier à cet inconvénient que M. Bollée appliqua *l'avant-train à deux pivots.*

Cette disposition consiste à monter les deux roues directrices *m* sur deux pivots séparés et à les manœuvrer par deux cames *e* et *e'* (Fig. 38). Les cames commandent les deux pivots P et P' par l'intermédiaire de deux

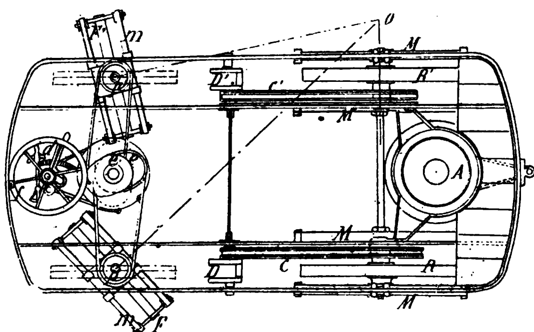


Fig. 38. — Direction à pivots de M. Bollée.

chaînes venant attaquer deux petites roues dentées clavetées sur P et P'. Les dimensions des cames et des roues dentées sont calculées de façon à donner des mouvements différents aux deux roues. Si, à l'aide du gouvernail on

fait tourner les roues dans le sens indiqué par la figure, la roue F′ décrira autour de son pivot un angle plus grand que la roue F, de façon à ce que chacune des roues tende à faire tourner le véhicule autour du même centre O. S'il n'en était pas ainsi, une des roues serait obligée de glisser, ce qui créerait un effort nuisible pour les pivots et la voiture tout entière.

Il résulte de ce dispositif que la voiture portera toujours sur un rectangle indéformable constitué par les deux roues de devant et les deux roues de derrière, ce qui lui assurera une grande stabilité que l'on ne peut jamais obtenir lorsque l'avant-train est monté sur une cheville ouvrière.

Chaudière. — M. Bollée emploie sur ses voitures des chaudières Field du même type que celles que l'on fabrique pour les pompes à incendie.

Les figure 39 et 40 permettent d'en comprendre le principe.

L'enveloppe E constitue la

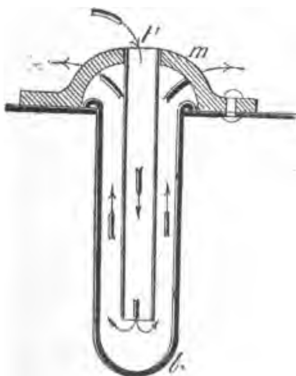


Fig. 39. — Tube Field.

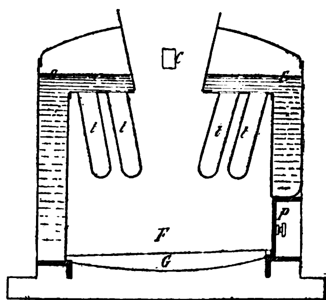


Fig. 40. — Chaudière Field.

chaudière proprement dite, à l'intérieur de laquelle se

trouvent le foyer F et la grille G. La cheminée C se trouve au centre de l'enveloppe cylindrique. Les tubes *t* sont disposés, comme l'indique la figure, de façon à contrarier la sortie des gaz. Le tube extérieur est rivé à l'enveloppe de la chaudière et contient un tube plus petit T′ maintenu au centre de T par un cavalier *m*, ainsi que l'indique la Fig. 40. La partie inférieure des tubes étant la plus chauffée, il se formera une circulation rapide d'eau dans le sens indiqué sur la figure, circulation qui a pour résultat de favoriser l'échauffement simultané de toute la masse liquide contenue dans la chaudière, ce qui assure une bonne utilisation de la surface de chauffe et, par conséquent, une vaporisation énergique.

On peut obtenir à l'aide de ce système une vaporisation de 100 kg d'eau par mètre carré de surface de chauffe et par heure. La mise en pression est des plus rapide, ce qui a permis d'appliquer ces chaudières aux pompes à incendie, et la circulation énergique de l'eau dans les tubes empêche toute incrustation de se produire.

La chaudière Field de *La Nouvelle* a 70 centimètres de diamètre extérieur et contient 118 tubes ; elle peut être mise en pression en 20 minutes ; elle est timbrée à 10 kg et produit de la vapeur surchauffée à 300°.

Moteur. — Le moteur proprement dit est constitué par deux cylindres calés à 45°, munis d'un distributeur rotatif équilibré permettant la détente et le changement de marche. Leur diamètre est de 15 centimètres pour une course de 16 centimètres. Le moteur peut développer normalement 15 chevaux ; mais, à pleine admission sa puissance peut monter jusqu'à 30 chevaux.

Le poids total en ordre de marche de cet omnibus à vapeur peut atteindre 4 600 kg avec le chauffeur, le conducteur et huit voyageurs ; il peut faire facilement 28 kilomètres à l'heure et atteindre par instants, en palier, une vitesse de 45 kilomètres à l'heure.

M. Bollée a construit un grand nombre d'autres véhicules qui ne varient guère que par la forme et certains détails de construction. Elles se recommandent toutes, non par la nouveauté du mécanisme, mais par leur exécution parfaite et leur conception réellement pratique. En un mot, on retrouve toujours l'œuvre d'un vieux mécanicien connaissant à fond son métier et ne mettant en exécution que ce dont il est absolument certain. Le résultat qu'il obtint dans la course de Paris-Bordeaux avec un véhicule qui datait de quinze ans témoigne suffisamment en sa faveur.

Au moment de mettre sous presse, nous apprenons que M. Bollée vient d'exécuter un tricycle à pétrole dont on dit le plus grand bien.

MOTEUR ROTATIF A VAPEUR SYSTÈME FILTZ

En vue d'un nouvel automobile à vapeur, la Société Decauville essaie en ce moment (février 1896) un moteur rotatif conçu par M. Filtz. Ce n'est plus l'appareil à piston héliçoïdal dont on a parlé il y a déjà six ans ; la transformation est complète et c'est à peine si l'on retrouve le principe original, si ce n'est que le nouveau moteur est rotatif.

Les Fig. 41 et 42 représentent deux coupes transversales de l'appareil. Il se compose essentiellement d'un

cylindre *c* fixe dans lequel tourne un piston P ayant une forme de double T, telle que celle-ci ⌶. Les deux faces latérales du cylindre ont une forme héliçoïdale, l'une à pas droit, l'autre à pas gauche. Cette forme est représentée en pointillé sur la Fig. 41. Aux deux extrémités d'un même diamètre du piston viennent se loger deux palettes *o* et *o'* qui peuvent coulisser dans une fente ménagée dans le plateau du piston ; vu la forme des couvercles du cylindre, il est aisé de comprendre que ces palettes, entraînées par le piston, prendront un mouvement de va-et-vient. A un certain moment, la palette *o*

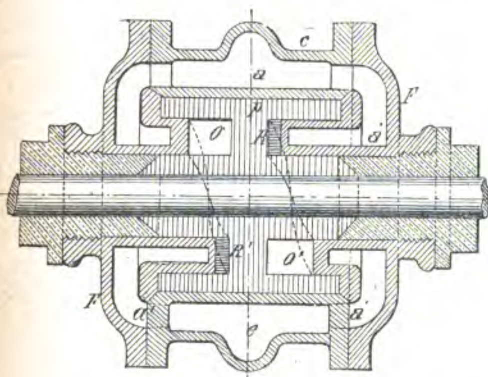


Fig. 41. — Moteur Filtz (coupe longitudinale).

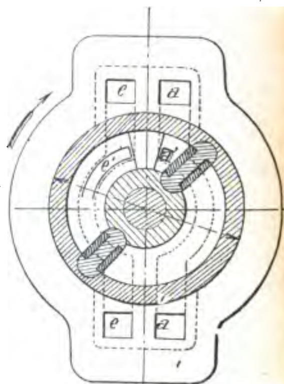


Fig. 42. — Moteur Filtz (coupe transversale).

par exemple, se trouvera complètement repoussée du côté gauche et le piston viendra appuyer sur le fond héliçoïdal du couvercle de droite.

L'inverse aura lieu lorsque le piston aura tourné d'un demi-tour.

Un canal d'amenée de vapeur *a'* vient déboucher en

un point situé après celui où le piston est en contact avec le fond du cylindre.

L'orifice d'échappement se trouve immédiatement avant ce point et affecte une forme allongée représentée en e'.

Considérons le piston dans la position représentée sur la Fig. 42 : l'espace situé à droite de l'arrête centrale du piston se trouve divisé en trois compartiments; l'admission de la vapeur s'effectue dans le premier des trois compartiments; dans le second la vapeur se détend et dans le troisième elle est mise en communication avec l'orifice d'échappement e'. Il est aisé de comprendre que l'admission se fera en a' jusqu'au moment où la palette o' viendra en a' et où la palette o sera à la partie inférieure du cylindre. L'admission se fait donc pendant un demi-tour. A partir de ce moment, la vapeur se détend comme dans le deuxième compartiment, en vertu de la plus grande surface de la palette o' sur celle offerte par la palette o, et la détente se poursuivra jusqu'au moment où ces deux surfaces seront égales. Ceci arrivera lorsque les palettes occuperont une position horizontale. Lorsque le moteur aura dépassé cette position, la vapeur sera mise en communication avec e' comme dans le troisième compartiment.

De l'autre côté du piston les choses se passent d'une façon analogue.

Tel est le fonctionnement très simple du moteur Filtz qui constitue un appareil réellement industriel et pratique.

L'inventeur a, du reste, cherché à en faire un moteur économique en transformant le type simple en moteur

compound. La solution était tout indiquée par l'accouplement de deux machines semblables, mais de grandeur différente, sur un plateau commun dont les canaux envoient l'échappement du petit à l'admission du grand cylindre.

Pour pouvoir appliquer ce moteur à la traction des véhicules, on a été obligé de prévoir un changement de marche. Dans ce but, on a muni le moteur d'un tiroir pouvant envoyer la vapeur dans une autre série de canaux disposés de façon à faire marcher le moteur en sens inverse. Il est à remarquer également que le moteur partira dans toutes les positions, excepté celle où la palette se trouverait précisément en face de l'admission de la vapeur.

Le tableau suivant (1) permet de se rendre compte de l'encombrement du Moteur Filtz.

MOTEURS A CYLINDRE UNIQUE — VAPEUR A 6 KG

Puissance	Diamètre du cylindre	Nombre de tours	Poids
3	94mm	1 200	60kg
5	170	500	100
10	200	400	150
MOTEUR COMPOUND. — VAPEUR 6 KG			
10	170-250	400	260
20	250-420	350	700
49	350-600	300	1 200

(1) Extrait de la *Revue Industrielle.*

Les consommations accusées avec échappement libre sont de 22 à 24 kg de vapeur par cheval-heure au frein pour le moteur simple, et de $13^{kg},2$ pour le moteur compound de 40 chevaux, ce qui correspond pour ce dernier à 9 kg de vapeur environ avec la marche à condensation.

Ce sont là des résultats plus que satisfaisants pour l'application du moteur à la locomotion automobile, et si ce moteur pouvait marcher au pétrole sans inconvénient, on serait en droit de lui prédire le plus brillant avenir.

TRAMWAY A VAPEUR SYSTÈME ROWAN

Le tramway automobile système Rowan est basé sur l'emploi d'une chaudière et d'une machine à vapeur ordinaire. L'ensemble des dispositions est telle qu'il n'y a pas ou presque pas de fumée ou de vapeur visible.

Vu la perfection apportée dans tous les détails de construction, nous croyons utile d'en donner une description complète pour montrer comment une machine à vapeur ordinaire peut se prêter à l'obtention d'un véhicule automobile de premier ordre et réaliser ainsi le problème de la traction économique et sans désagréments pour les voyageurs.

Nous donnerons d'abord un aperçu des conditions d'exploitation de la ligne de Tours à Vouvray desservie par un tramway de ce système, et nous passerons ensuite à la description du moteur et du mécanisme en nous inspirant dans ce qui suit d'un travail que

M. Saintive a fait paraître dans la *Revue Technique*, de septembre 1894.

La ligne de Tours à Vouvray a une longueur totale de 10 kilomètres ; elle est à voie unique et presque partout en palier. On rencontre cependant des rampes de 12, 13 et et 18 millimètres par mètre sur des longueurs respectives de 125, 92 et 58 mètres.

Les arrêts ont lieu à la demande des voyageurs ; le trajet se fait en 45 minutes, ce qui correspond à une vitesse de 15 kilomètres à l'heure, non compris les arrêts.

Chaque automobile contient 50 voyageurs et remorque une voiture à impériale de 70 places du type représenté sur la Fig. 43.

Au-dessus de la voiture automobile se trouve un condenseur dont nous parlerons plus loin. La caisse de cette dernière est divisée en trois compartiments dont celui d'avant est destiné à recevoir les messageries.

La caisse est suspendue sur deux bogies : l'un à l'avant supportant le moteur, et l'autre à l'arrière. La caisse vient s'appuyer sur le bogie de devant par l'intermédiaire de deux ressorts à lames renversées et de patins dressés qui viennent s'engager dans deux glissières circulaires faisant corps avec le bâti du moteur.

Cette disposition permet à la voiture de tourner sans difficulté dans des courbes de 20 mètres de rayon.

Le bogie de l'arrière est à un seul essieu fixé à un cadre de la largeur de la voiture. Au centre de ce cadre passe une cheville qui vient pivoter sous la caisse de la voiture. L'essieu est donc absolument libre de tourner indépendamment de la caisse.

Moteur. — Ainsi que nous l'avons fait remarquer, le moteur est placé tout à fait à l'avant du véhicule et, une partie du poids de la voiture et des voyageurs, qui s'ajoute à son propre poids, est suffisant pour déterminer l'adhérence même dans des rampes de 6 %.

La chaudière est verticale ainsi que le représentent les Fig. 44 et 45 ; elle est reliée au châssis par une collerette boulonnée au tablier placé devant le moteur, et par une couronne placée à la partie inférieure et fixée solidement aux longerons.

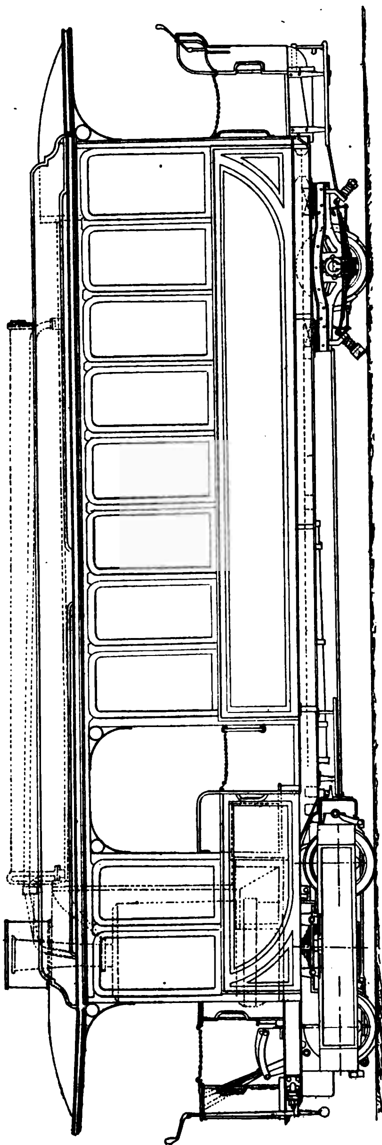


Fig. 43. — Tramway Rowan.

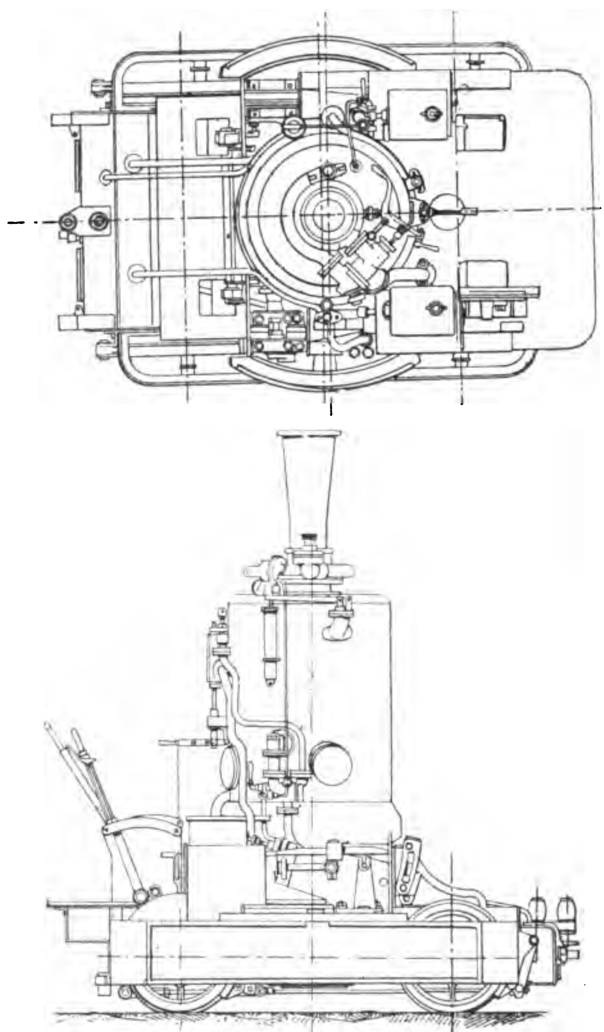


Fig. 44. — Chaudière Rowan.

L'enveloppe extérieure de la chaudière est constituée de deux corps cylindriques boulonnés ensemble, ce qui permet d'enlever la partie supérieure pour mettre à nu l'enveloppe intérieure. Celle-ci est constituée également par une partie cylindrique tout autour du foyer ; mais, la partie supérieure a une section rectangulaire. Entre les quatre faces du prisme ainsi constitué sont disposés des tubes inclinés qui servent à enrayer la sortie des gaz et augmentent beaucoup la surface de chauffe. Comme dans toutes les chaudières à tubes d'eau, on a incliné les tubes de façon à assurer une bonne circulation d'eau qui favorise un échauffement uniforme et empêche les incrustations trop rapides.

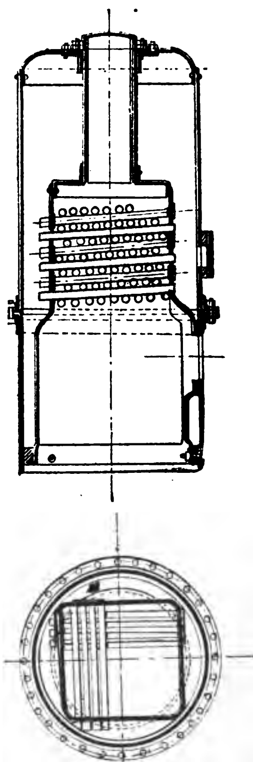


Fig. 45. — Coupe de la chaudière Rowan.

La surface de chauffe est de $8^{m2},83$ et celle du foyer $1^{m2},62$; les parois de ce dernier ont une épaisseur de $13^{mm},50$ et celle de l'enveloppe de $12^{mm},50$. La chaudière est timbrée à 14 kg.

On brûle du coke dans le foyer de façon à pouvoir le charger d'une couche épaisse au départ sans avoir à se préoccuper de cette opération en cours de route. Si on voulait employer du charbon on ne pourrait pas pro-

céder de la même manière, parce que ce dernier ne se laisse pas aussi bien traverser par l'air.

Le nettoyage du feu se fait à Vouvray seulement, c'est-à-diré après un parcours de 20 kilomètres.

L'alimentation se fait en route à l'aide d'une pompe qui va puiser l'eau dans un réservoir situé derrière le moteur, réservoir qui communique lui-même avec des bâches fixées sous le véhicule et qui reçoivent l'eau provenant du condenseur. Un injecteur Kœrting permet d'alimenter pendant les stationnements.

Mécanisme. — Les cylindres sont extérieurs aux longerons et placés horizontalement sur la plate-forme de la chaudière ; leur diamètre est de 166 millimètres et la course des pistons de 340 millimètres. Le diamètre des roues étant de 620 millimètres, l'effort maximum de traction est ainsi de 2 115 kg.

La transmission du mouvement du piston à la bielle motrice se fait par le moyen d'un balancier. Cette disposition augmente la puissance du moteur dans la proportion de 3 à 2 (qui est celle des bras du balancier), mais elle présente une certaine complication dans les organes ; la commande de la distribution se fait, pour chaque côté, par l'intermédiaire du balancier du côté opposé, ce qui constitue aussi un inconvénient, car une avarie à une pièce du mécanisme moteur paralyse ainsi totalement la machine. Toutefois, les avaries de ce genre étant excessivement rares ; les ennuis qui peuvent résulter de cette disposition sont donc sans importance.

Le graissage du mécanisme se fait avec facilité ; il en est de même de l'inspection en cours de route, le méca-

nicien n'ayant qu'à tourner la tête pour embrasser d'un coup d'œil toutes les articulations, écrous, goupilles, clavettes, etc.

C'est un avantage sur les moteurs de tramways renfermés dans des caissons, où le mécanicien ne s'aperçoit pas d'un commencement de chauffage ni de desserrage de pièces, lesquels peuvent alors s'aggraver jusqu'à mettre parfois la voiture en détresse.

Le changement de marche est à levier ; il est situé à droite du mécanicien et tout à fait à sa main ; le régulateur est au contraire situé à sa gauche. La manœuvre de ces appareils est aussi facilitée par cette disposition.

Le démarrage étant effectué, le mécanicien ramène immédiatement le levier du changement de marche du 3e cran du secteur, — correspondant à une admission de 30 % environ, — et quelle que soit la vitesse à obtenir, il le laisse à ce point : l'effort à produire se règle alors par le degré d'ouverture du régulateur. Cette marche à 30 % d'admission est très économique : elle supprime le laminage de la vapeur à l'entrée dans les cylindres et, d'un autre côté, l'ouverture généralement incomplète du régulateur abaisse la pression de la vapeur à la sortie de la chaudière, ce qui a pour effet de revaporiser le peu d'eau entraînée par celle-ci, qui arrive alors sèche et même un peu surchauffée aux cylindres.

Le combustible étant de son côté bien utilisé, on a ainsi un moteur très économique. Enfin, la chaudière étant toujours alimentée avec de l'eau chaude et pure, se conserve indéfiniment en bon état : c'est ainsi qu'on n'a pas encore constaté de fuites au foyer ni aux tubes

des quatre machines en service sur la ligne de Tours à Vouvray.

Il est inutile aussi de laver les chaudières, ce qui économise beaucoup de temps et de main-d'œuvre; il suffit de les vider tous les dix jours avec un peu de pression, et de démonter la partie supérieure de l'enveloppe une fois par an. On met ainsi l'intérieur à nu, comme nous l'avons vu, et on le nettoie alors avec la plus grande facilité. Les dépôts sont d'ailleurs pulvérulents et s'enlèvent avec beaucoup de facilité, parce qu'on prend la précaution — l'opération terminée — de badigeonner les tôles et l'intérieur des tubes avec du goudron, ce qui empêche le tartre d'adhérer trop fortement aux parois.

A sa sortie des cylindres, la vapeur peut être dirigée à l'air libre par un échappement en couronne placé à la base de la cheminée, ou dans un condenseur à air placé sur la voiture ; c'est cette dernière marche qui est la plus rationnelle et qu'on doit employer d'une façon normale.

Le condenseur, qui a près de 150 mètres carrés de surface refroidissante, est formé de lames de cuivre très minces, ondulées, puis soudées deux par deux : les cavités ainsi formées communiquent par une de leurs extrémités avec un collecteur qui reçoit la vapeur d'échappement de la machine, et par l'autre extrémité avec un deuxième collecteur en communication par des tuyaux de descente avec des bâches situées sous le plancher de la voiture.

Bien conduit et bien entretenu, ce moteur n'émet donc ni vapeur ni fumée, et il est ainsi particulièrement

propre à circuler dans les villes ou les faubourgs populeux.

Sur la ligne de Tours à Vouvray, il y a trois voitures automobiles, plus un moteur de rechange.

En été, deux voitures sont en service en semaine ; le dimanche elles le sont toutes les trois, le moteur de rechange assurant la réserve.

Mais, en hiver, les départs n'ayant lieu que toutes les deux heures en semaine, une seule automobile suffit pour tout le service, sauf le dimanche où on en met deux en circulation. On procède alors à tour de rôle à la réparation de toutes les machines, et le printemps venu elles sont en parfait état et prêtes à assurer un service plus chargé.

Les mécaniciens sont également au nombre de trois, ils ont donc chacun leur machine, avec laquelle ils sont seuls à marcher. En été, chaque automobile fait deux jours de service, soit 100 kilomètres le premier jour et 140 le second ; le troisième elle reste au dépôt et le mécanicien vérifie minutieusement toutes les clavettes, goupilles, boulons, etc., — donne, s'il y a lieu, du serrage aux coussinets des bielles ou des paliers des balanciers, recharge ou resserre les garnitures des tiges des pistons et des tiroirs, graisse et rode la robinetterie, les soupapes, vérifie le serrage des sabots de frein du moteur et du bogie d'arrière. Pendant ce temps, le nettoyeur du dépôt *épingle* les tubes à l'aide d'une tringle très mince pour en faire tomber la suie et les escarbilles entraînées par le tirage — opération qui demande à être faite avec beaucoup de soin et nécessite un travail d'une heure au minimum ; — puis il nettoie le mécanisme, la caisse et l'intérieur de la voiture.

Le parcours effectué journellement par les automobiles étant de 240 kilomètres en semaine et de 340 le dimanche, cela donne pour chacune d'elles un chiffre de 2 500 à 2 600 kilomètres environ par mois.

Quand cela est nécessaire, les moteurs peuvent faire évidemment plus de deux jours de service sans arrêt; c'est ainsi que sur la ligne Auteuil-Boulogne elles font jusqu'à 10 et 12 jours de service de suite, soit 12 à 1 500 kilomètres — autant qu'une locomotive de chemin de fer. Il est cependant préférable de les arrêter pour visite ou réparation après un parcours de 6 à 800 kilomètres.

La consommation moyenne des automobiles de la ligne de Tours à Vouvray, remorquant une voiture d'attelage de soixante-dix places, soit un train de 120 places, est de 3^{kg},200 de coke par kilomètre, allumage compris. Pour les machines bien conduites, elle descend à 3 kg et celle de l'huile à 32 grammes.

Le personnel du dépôt comprend seulement un ouvrier tourneur et deux manœuvres ; quant à l'outillage, il se compose de :

1 machine fixe de 8 chevaux, alimentée par la chaudière du moteur de réserve ;

1 tour parallèle pour rafraîchir les bandages ;

1 tour à fileter;

1 forge ;

1 machine à percer ;

Et 2 étaux.

Le tourneur prépare pendant l'été les pièces de re-

change : axe, coussinets, segments de pistons, etc., qui lui sont nécessaires ; ces pièces sont prises brutes chez des fondeurs ou forgerons de Tours.

A partir du 1er novembre, les machines rentrent à tour de rôle en réparation. On remplace tous les axes qui ont du jeu, on visite les pistons, et on remplace les segments s'il y a lieu. En général, on les rebat au bout de la première année, et ils ne sont ainsi remplacés que tous les deux ans.

Les tiroirs sont aussi remplacés au bout du même temps.

Tous les coussinets des bielles et des boîtes sont antifrictionnés avec un métal blanc ayant la composition suivante :

Etain	82	parties.
Antimoine	12	—
Cuivre rouge	6	—

Enfin, le nettoyage et la réparation du condenseur se font tous les deux ans, et la visite des bâches à eau tous les ans.

Quant aux bandages des roues de la machine, on les met sur le tour pour la première fois après un parcours de 8 000 kilomètres. Ils font ensuite 6 000 kilomètres, puis on les rafraîchit une seconde fois ; enfin ils sont réformés après un parcours de 8 000 kilomètres. Ils fournissent donc un parcours de 22 000 kilomètres en moyenne, mais il en est qui font 24 et 25 000 kilomètres. Pour diminuer l'usure de ces bandages, on a installé sur la ligne de Tours à Vouvray un petit appa-

reil qui permet d'arroser les rails et la route à la fois ; on diminue aussi de cette façon l'usure du mécanisme, en même temps que l'on préserve les voyageurs de la poussière.

On estime à 25 ou 30 % l'augmentation de durée des bandages et des articulations du mécanisme obtenue de cette façon (1).

MOTEURS A VAPEUR SANS FEU OU A EAU CHAUDE

La machine à eau chaude a été essayée en 1872 par le Dr Lamm, de la Nouvelle-Orléans.

M. Francq fit l'acquisition des droits du Dr Lamm et perfectionna le système de façon à le rendre pratique et économique.

Le but principal, la suppression du foyer de la locomotive, est atteint dans ce système par l'utilisation de la capacité calorifique de l'eau, en lui communiquant une quantité de chaleur suffisante pour obtenir la production de vapeur nécessaire au fonctionnement de la machine. Le moyen pratique consiste à faire passer dans un volume d'eau contenue un réservoir placé sur la machine, un courant de vapeur à haute pression, produite dans un générateur installé à la station de départ, et qui cède toute sa chaleur au fur et à mesure qu'elle se mélange à l'eau.

Pour fournir à l'eau la chaleur qu'elle doit posséder

(1) *Revue technique, loc. cit.*

au départ, il suffit d'ouvrir deux robinets : l'un sur la conduite des chaudières, l'autre sur le réservoir de vapeur; alors la vapeur à haute pression pénètre avec force à l'intérieur de ce dernier et, par l'effet de petites ouvertures pratiquées sur un tuyau intérieur, placé d'une façon particulière, l'eau se trouve agitée par la vapeur en sens divers et assez violemment pour répartir uniformément la chaleur.

Quand il y a équilibre de pression entre les chaudières et le réservoir, on ferme les robinets et l'on rompt la communication. La locomotive est alors prêtre à partir, et la chaleur renfermée dans l'eau ne tarde pas à provoquer l'ébullition, dès que l'espace libre supérieur du réservoir est mis en communication avec les cylindres de la machine à vapeur.

Le moteur peut donc rendre sur les pistons un travail mécanique à peu près équivalent à la chaleur contenue dans l'eau, entre les limites fixées par la pratique. Ces limites peuvent être très éloignées l'une de l'autre, c'est-à-dire que la température initiale de l'eau peut être portée aussi loin que possible, tandis que la température finale peut être ramenée au plus bas.

Dans la pratique, la température initiale peut atteindre 200° correspondant à une pression effective de 15 kg, et la température finale être fixée à la pression minimum indispensable au moteur pour opérer les démarrages, même en rampe ; et comme ce n'est là qu'une question d'effort à exercer, qu'une disposition spéciale du mécanisme peut toujours permettre, la température de 133°, correspondant à la pression effective de 2 kg, peut suffire.

Dans ces conditions, le vapeur peut agir à basse pression et à grande détente, si l'on veut ; on peut ainsi en tirer le plus grand effet utile.

Cette vapeur peut évidemment agir, le cas échéant, avec une énergie plus considérable par l'utilisation d'une grande pression sur les pistons lorsque, pendant le trajet,il se présente une résistance accidentelle plus forte. Il suffit,pour cela,de manœuvrer le ressort d'un *détendeur de vapeur* disposé entre le réservoir d'eau surchauffée et un autre réservoir plus petit, dont l'objet est de débiter la vapeur à une pression constante sur les pistons.

La Fig. 46 représente la locomotive sans foyer suivant une coupe longitudinale passant par l'axe du réservoir.

La Fig. 47 en est une coupe transversale faite suivant l'axe du condenseur.

La locomotive se compose essentiellement d'un grand réservoir en tôle d'acier A, surmonté d'un dôme A′ et d'un mécanisme moteur analogue à celui des locomotives ordinaires. Il comprend deux cylindres B actionnant par leurs tiges de piston et les bielles C un essieu coudé D porteur des deux premières roues motrices E ; celles-ci sont connectées par les bielles extérieures C′ avec les deux autres roues E′, également motrices par conséquent, et montées sur un essieu droit D′.

Le mécanisme moteur est placé à l'intérieur des deux longerons F constituant les parties principales du châssis en tôle qui sert de base et de support à tout l'ensemble. On remarque encore que ce châssis est entouré par des panneaux en tôle F′ reliés à la plate-forme.

Aujourd'hui on construit des machines avec le méca-

nisme moteur placé à l'extérieur des longerons ; cette disposition simplifie la construction et facilite beaucoup la visite et l'entretien du mécanisme, qui se trouve tout

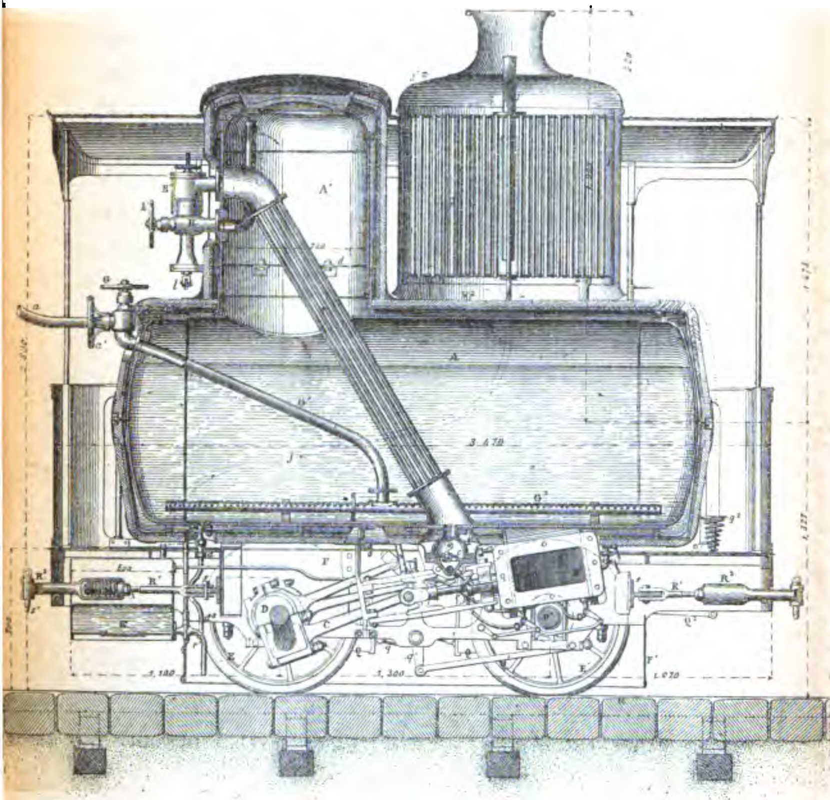


Fig. 46. — Locomotive Francq.

à fait à la portée de la main du mécanicien.

Le réservoir A peut contenir un grand volume d'eau qui, introduite froide dans l'appareil, doit être portée à

une très haute température, avant la mise en marche de la locomotive et, comme il a été dit, à l'aide d'un

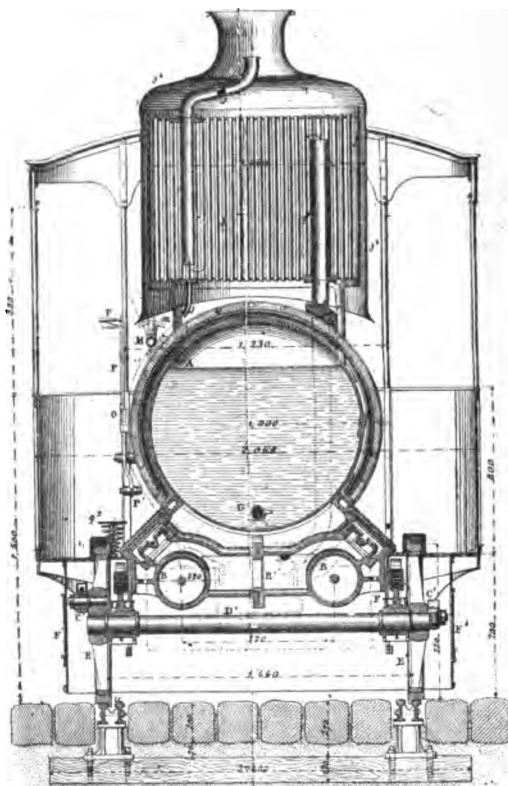


Fig. 47. — Locomotive Francq (coupe transversale).

générateur fixe, capable lui-même de produire de la vapeur saturée à une pression qu peut atteindre 15 kg et par conséquent une température de 200°.

On conçoit qu'en faisant passer de ce générateur fixe dans le réservoir A une quantité suffisante de vapeur, l'eau contenue dans ce réservoir doit se mettre en équilibre de température et de pression, ainsi que la vapeur qui s'y forme et qui se loge au-dessus du liquide, dans la partie libre du réservoir et dans le dôme A′ qui le surmonte.

Si on admet qu'il n'existe pas de déperdition de chaleur au travers des parois de l'appareil, les choses resteront dans le même état tant qu'on ne fera aucune prise extérieure, c'est-à-dire tant que l'eau du réservoir se maintiendra à la température de 200°, par exemple, mais toujours prête à passer en vapeur au moment de la décharge de la pression qu'elle supporte, ou seulement dès que cette pression viendra à se réduire.

Pour opérer la prise de la vapeur et la distribuer aux cylindres, il existe à l'intérieur du dôme un tube *b* (Fig. 47) dont l'extrémité supérieure, élevée aussi haut que possible, est percée d'ouvertures longitudinales par lesquelles la vapeur peut s'introduire ; ce tuyau, recourbé horizontalement, se raccorde avec un appareil disposé à l'extérieur, le *détendeur de vapeur*, qui se compose d'une première partie H constituant un simple robinet-valve, mais appartenant à un organe beaucoup plus important H′, qui constitue le détendeur proprement dit, c'est-à-dire qui ne permet à la vapeur de parvenir aux cylindres qu'après l'avoir amenée à la pression convenable.

La distribution de la vapeur aux cylindres n'offre d'autres différences avec les machines similaires que son mode de fonctionnement, l'échappement n'étant point utilisé pour activer un foyer qui n'existe pas. On

a cherché à le dissimuler pour éviter de former un panache apparent et de produire du bruit.

Ce résultat est obtenu à l'aide d'un *condenseur à air* constitué par un cylindre clos J traversé par un grand nombre de tubes J', qui sont ouverts des deux bouts pour que l'air puisse les traverser librement.

La vapeur, après avoir fonctionné dans les cylindres, se rend dans la boîte B' commune aux deux cylindres d'où part le conduit B^2 (Fig. 47), qui est contourné pour épouser la forme du réservoir et venir pénétrer dans le condenseur.

La vapeur d'échappement peut ainsi se répandre dans l'espace occupé par les tubes J', se condenser à leur contact et retomber en eau sur le fond, d'où part un conduit J, de faible diamètre, qui dirige cette vapeur condensée dans une caisse K, d'une capacité suffisante, placée sous la plate-forme du châssis. Néanmoins si la condensation n'est pas complète, le peu de buée restant alors dans l'intérieur du condenseur peut s'échapper à l'extérieur par un tuyau plongeant J', débouchant au centre de l'enveloppe J^2, qui dissimule et orne le condenseur.

Le détendeur de vapeur que nous avons mentionné plus haut est un des organes essentiels de la machine de Francq. Il est représenté sur les Fig. 48 et 49.

La vapeur arrive par X et passe dans le tuyau Y après avoir traversé les deux soupapes B. Celles-ci peuvent offrir un passage relativement restreint à la vapeur, ce qui a pour effet de la détendre en vertu du principe qui veut que, lorsqu'il y a un changement brusque de section dans une canalisation, il y a une perte de charge

proportionelle à la variation brusque de la vitesse d'écoulement.

La pression de la vapeur en Y est toujours de 3 ou 4 kg par centimètre carré, quelle que soit la pression de cette même vapeur en X. Pour obtenir ce résultat, un piston D, relié par une tige C aux soupapes B est mis en communication avec la vapeur détendue.

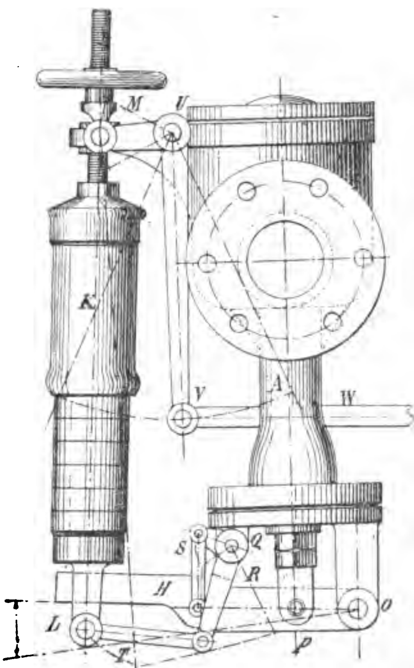


Fig. 48. — Détendeur de vapeur.

Ce piston fait équilibre, dans une certaine position, à la vapeur sous trois atmosphères par un jeu de leviers H, S, RT soumis à l'action d'un ressort contenu en K. Lorsque la pression de la vapeur tend à diminuer, le ressort K fait remonter le piston D, ce qui fait monter les soupapes B et, par conséquent, diminuer la détente. On arrive ainsi à maintenir de la vapeur sous pression constante en Y.

Lorsque pour un démarrage ou dans une rampe on a

momentanément besoin d'une puissance plus considérable, le mécanicien en agissant sur les leviers W, U, M peut faire varier la tension du ressort et de ce chef augmenter la pression de la vapeur en Y en déterminant le soulèvement des soupapes B.

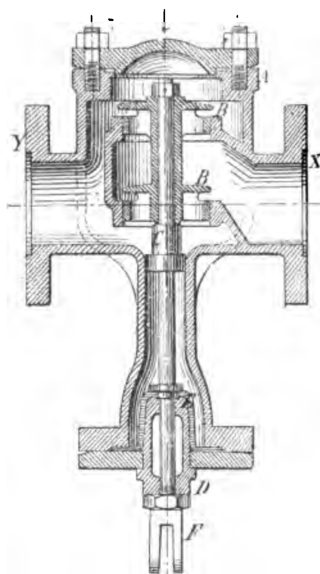


Fig. 49. — Détendeur de vapeur. Coupe.

Emmagasinage de l'eau sous pression et à haute température, qui fournit de la vapeur lorsque l'on diminue cette pression : tel est le principe de la locomotive Francq. Comme les voitures électriques et à air comprimé que nous allons décrire, la machine à eau chaude est basée sur une accumulation d'énergie. Le réservoir d'eau chaude n'est autre chose, au fond, qu'un accumulateur de chaleur qui est utilisée pour vaporiser cette eau et faire agir la vapeur sur le piston qui transforme son énergie en travail mécanique.

Comme les autres, cet accumulateur entraîne avec lui des pertes dues au rayonnement et à la détente de la vapeur sans profit pour le travail utile. En fait, la dépense de vapeur des chaudières fixes qui sont destinées à réchauffer l'eau des réservoirs d'eau chaude se monte environ à 25 kg par cheval et par heure, ce

qui entraîne une consommation de $3^{kg},5$ de combustible.

Une locomotive ordinaire dépenserait un peu plus de la moitié des chiffres ci-dessus. Le système n'est donc pas économique relativement aux machines à vapeur ordinaires ; mais, si on le compare aux autres systèmes de traction par accumulateurs électriques ou pneumatiques, on trouve qu'il leur est au moins égal, et peut-être supérieur.

CHAPITRE V

AUTOMOBILES A AIR COMPRIMÉ

—

TRAMWAY DE POPP-CONTI

Ce système de traction mécanique a été adopté pour les villes de Saint-Quentin, Angoulême, Lyon, etc., où les profils sont généralement accidentés et permettent d'apprécier la valeur de ce mode de traction à l'air comprimé. Les trains se composent de trois voitures au plus, et leur longueur totale ne peut pas dépasser 30 mètres. La vitesse moyenne atteint 12 kilomètres à l'heure dans l'intérieur des villes et peut être poussée à 25 et même 30 kilomètres à l'extérieur.

Le système de MM. Popp-Conti diffère de celui de M. Mekarski dont nous avons déjà dit quelques mots, en ce que l'on emploie des pressions beaucoup plus basses. Il en résulte forcément un meilleur rendement, puisque l'on n'a pas besoin de détendre autant l'air avant de l'introduire dans le moteur, que lorsque l'on emploie des pressions très élevées. Le poids du réservoir d'air monté sur la voiture est également diminué de ce chef, et l'usine de compression peut être notablement réduite.

Comme la puissance emmagasinée est moindre qu'avec le système Mekarski, on a dû songer à recharger la voiture en route tous les 2 ou 3 kilomètres ; pour cela il a fallu avoir recours à une canalisation d'air tout le long de la voie et installer des prises automatiques aux divers arrêts du tramway. C'est là un des inconvénients du système Popp-Conti.

Description de la voiture. — Les voitures sont à double suspension. Le châssis du truck est suspendu à des ressorts à lames prenant leur point d'appui sur les boîtes à graisse, directement au-dessus des essieux. La caisse vient ensuite reposer sur un châssis supérieur suspendu sur d'autres ressorts placés aux extrémités du châssis du truck.

L'usage de ce dispositif permet d'obtenir une suspension très douce. Il a également l'avantage de se prêter à l'emploi d'essieux très rapprochés, même pour le cas de voitures de grande lougueur, ce qui donne une grande commodité pour aborder les courbes de faibles rayons.

Les deux essieux sont reliés entre eux au moyen de bielles d'accouplement. L'un d'eux seulement est attaqué par le moteur à air comprimé, par l'intermédiaire de deux roues d'engrenages noyées dans un réservoir d'huile entièrement clos.

Les Fig. 50 et 51 permettent de se rendre facilement compte de la simplicité et de la solidité du moteur à air comprimé.

On remarquera que le moteur est placé au centre de la voiture, ce qui supprime les mouvements de lacet si désagréables de certaines voitures à vapeur ou à air comprimé.

Le moteur est compound et à détente variable.

Son bâti, en acier coulé, est d'une extrême solidité.

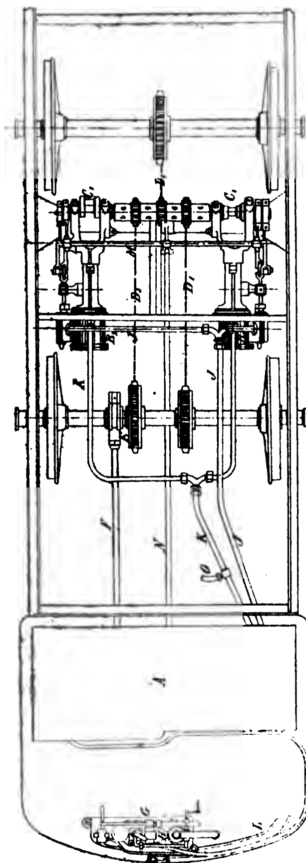


Fig. 50. — Tramway Popp-Conti. Vue du mécanisme.

Très facilement accessible par l'intérieur de la voiture, ce qui en rend la visite très facile, ce moteur peut, en cas de réparations, être très rapidement enlevé et remplacé par un autre, ce qui permet, en cas d'accident de ne pas immobiliser entièrement la voiture jusqu'à ce que la remise en état du moteur soit terminée.

Le moteur compound peut, selon les points de la route, marcher à double expansion ou à admission directe dans les deux cylindres.

La commande de la voiture, qui peut se faire des deux plates-formes, est remarquablement simple. Le mécanicien a devant lui un volant et trois petits robinets. Ces derniers sont destinés aux usages suivants :

Le premier commande le changement de marche. En

effet, les coulisses Stephenson, au lieu d'être actionnées par une série de leviers, sont commandées directement par de petits pistons à air comprimé. Le petit robinet en question a donc pour effet de faire monter ou descendre

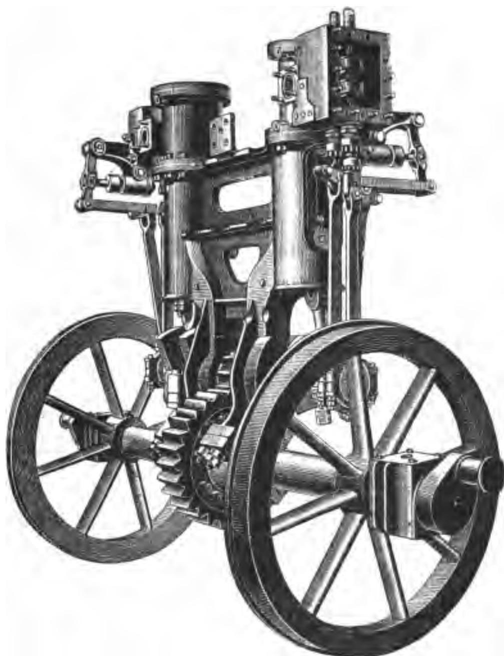


Fig. 51. — Moteur à air comprimé.

les coulisses. On a peut-être déjà remarqué que, par ce procédé, les coulisses ne peuvent occuper que leurs deux positions extrêmes. Cela n'a pas d'inconvénient, car on ne leur demande pas de régler la détente. On règle l'admission au petit cylindre à l'aide de la détente Meyer qui

est commandée directement par le grand volant placé devant le mécanicien. Le second petit robinet commande le joint ; nous en décrirons plus loin le fonctionnement. Le troisième robinet sert à la commande du frein de sûreté ; il permet d'introduire directement la pression derrière les pistons qui actionnent les freins.

Il ne reste donc plus qu'à décrire le fonctionnement du volant. Ce dernier produit des effets différents à chaque tour que le mécanicien lui fait faire.

Le premier tour permet de régler graduellement la pression sur les freins. Plus le mécanicien tourne à gauche, plus la pression augmente ; s'il tourne à droite, au contraire, la pression diminue, et cela, de telle façon qu'à chaque position du volant correspond une pression différente sur les freins. Supposons le volant au bas de sa course à gauche, les freins recevront la pression maxima. Si le mécanicien fait un tour à droite, la pression des freins décroîtra progressivement et arrivera à un zéro. A ce moment le moteur se trouve également à l'air libre. Si le mécanicien continue à tourner sur le volant à droite, il ouvrira progessivement l'introduction de l'air dans le petit cylindre, jusqu'au moment où il aura terminé son deuxième tour. Il sera alors en pleine marche compound, et le mécanicien réglera la marche du train à l'aide du volant commandant la détente Meyer.

Le volant peut faire trois tours ; le troisième est en quelque sorte un secours qui permet de tripler la force du moteur. En effet, si le mécanicien continue à tourner son volant à droite, il passe de la marche compound à la marche directe, c'est-à-dire qu'il va mettre l'échappement du petit cylindre à l'air libre et qu'il va

introduire progressivement et directement l'air qui vient des réservoirs dans le grand cylindre de telle façon que, lorsqu'il va rencontrer la butée à droite, les deux cylindres seront en pleine pression. Lorsqu'il tournera son volant à gauche, il produira les effets inverses, c'est-à-dire qu'après le premier tour à gauche, il sera revenu à la pleine marche compound ; après le second tour, le moteur sera à l'air libre, et après le troisième tour, la pression des freins sera maxima.

Cette manœuvre a l'avantage de rendre impossible toute confusion de la part du conducteur, car on remarquera que, pour agir sur les freins, il est obligé malgré lui de mettre le moteur à l'air libre, et inversement.

On voit que grâce au système de distribution que nous venons de décrire, les diverses combinaisons d'admission de l'air comprimé dans les cylindres des moteurs, les départs, le réglage de l'effort moteur et de la vitesse de marche, les arrêts, la commande des freins s'opèrent dans un ordre parfaitement déterminé et réglé par la simple manœuvre d'une manivelle placée sous la main du cocher.

Les voitures peuvent marcher dans les deux sens, de sorte qu'il n'est pas nécessaire de prévoir l'établissement de plaques tournantes aux têtes de lignes.

Prise d'air automatique. — L'emploi des pressions modérées étant adopté en principe, il fallait que la voiture, emportant avec elle une moindre provision d'air, ayant moins de souffle, pût renouveler cette provision en cours de route.

Là était la difficulté. On ne pouvait songer, en effet, à

avoir, comme cela se fait sur les lignes de tramways à accumulateurs d'air aux stations de rechargement, des ouvriers en permanence sur la voie, vissant des raccords, manœuvrant des robinets, puis dévissant les raccords après le rechargement. Toutes ces manœuvres se traduisent par des stationnements prolongés (jusqu'à 3 ou 4 minutes). Ces pertes de temps sont inadmissibles dans un tramway à traction mécanique qui doit toujours chercher à effectuer son parcours dans un temps aussi court que le permettent la prudence et les règlements de police.

MM. Victor Popp et James Conti se sont posé le problème suivant : Etant données des prises d'air comprimé installées de distance en distance sur une voie de tramway, tous les deux à trois kilomètres par exemple, arriver à faire que la voiture renouvelle son chargement d'air automatiquement et en quelques secondes, à chacune de ces prises placées près des bureaux d'arrêts, sans qu'aucune manœuvre sur la voie publique soit nécessaire, sans que le mécanicien ait besoin de descendre de sa voiture.

La solution qu'ils ont trouvée est fort simple, et constitue certainement une des parties les plus curieuses de leur système.

Les appareils qui permettent aux voitures de renouveler leur provision d'air en cours de route se nomment *prises automatiques*.

Ces prises sont établies près des bureaux de contrôle où la voiture est obligée de s'arrêter.

Après comme avant le passage, une simple petite plaque rectangulaire de fonte bitumée, située au niveau de

la voie entre les deux rails et fermée, est le seul signe extérieur accusant l'existence de la prise d'air.

La prise automatique se divise en deux parties : le distributeur, placé sous la voie publique en des points déterminés, et le récepteur que porte la voiture.

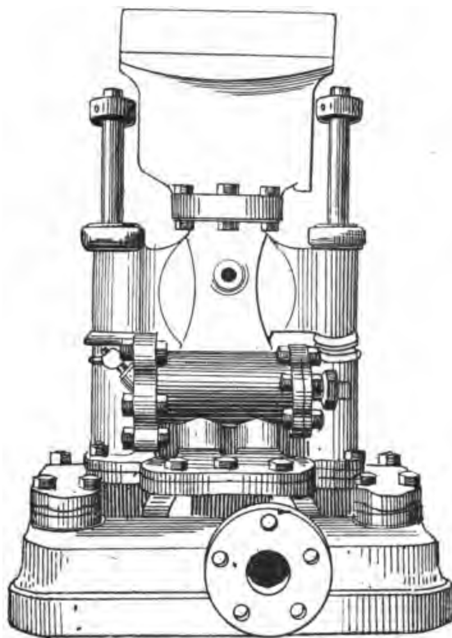


Fig. 52. — Distributeur.

Le distributeur se compose d'un couteau creux de section lenticulaire, relié à un corps de pompe et qui peut monter et descendre sous l'action de l'air comprimé (Fig. 52). Dans sa position inférieure, ce couteau se trouve enfermé dans une boîte dont on n'aperçoit que

le couvercle qui présente l'aspect d'une plaque d'égout ordinaire. Dans sa position supérieure, ce couteau a ouvert deux petites portes noyées dans le couvercle de la

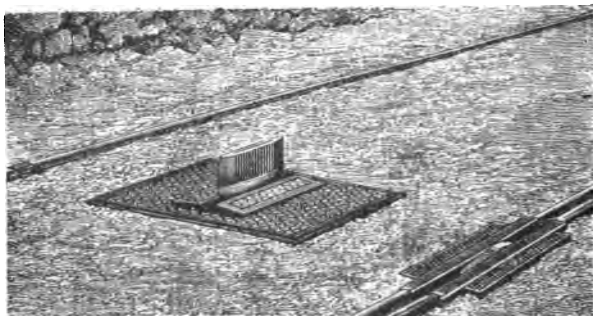


Fig. 53. — Distributeur relevé.

boîte et il dépasse le niveau des rails de 15 centimètres environ (Fig. 53); dans cette position il attend le récepteur pour s'y engager.

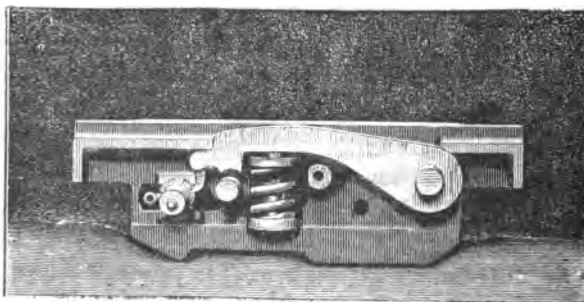


Fig. 54. — Pédale commandant le distributeur.

La montée du couteau distributeur est commandée par une pédale. Cette pédale se compose d'un levier placé

entre le rail et le contre-rail, il est actionné par les boudins des roues (Fig. 54) ; ce levier commande l'admission de l'air comprimé sous le couteau distributeur. Lorsque la roue d'avant passe sur la pédale, le poids de l'automobile agissant sur le levier, le couteau monte et ne redescend de lui-même que lorsque l'alimentation sera terminée. Il est bien entendu que la pédale ne peut être actionnée que par le boudin de la roue du tramway. En effet, si une autre voiture vient à passer sur le rail, sa roue étant plus large que la gorge où se trouve la pédale, elle ne peut pas appuyer sur le levier. Une voiture très légère, seule, pourrait avoir une roue suffisamment étroite pour porter sur cette pédale, mais elle n'aurait aucune action, le poids de l'automobile étant nécessaire pour provoquer le mouvement.

Le récepteur se compose d'une boîte en bronze, fermée à sa partie inférieure par deux boudins souples placés l'un à côté de l'autre. Lorsque ces boudins sont sous pression, ils se serrent l'un contre l'autre et forment un joint hermétique. Quand la pression n'agit pas, ils permettent à un corps étranger de pénétrer entre eux. Ce principe sert de base au système d'alimentation. Nous allons décrire les différentes phases d'une opération de rechargement.

Lorsque la voiture arrive sur une prise d'air, le boudin de la roue d'avant a fait sortir le couteau en actionnant la pédale au moment où la voiture passe au-dessus ; la roue d'arrière passe à son tour. Le mouvement de la voiture continuant, le couteau pénètre entre deux galets de guidage qui le conduisent entre les deux boudins qui forment le joint. Le mécanicien, prévenu par des

repères qui se trouvent sur la voie et par un appareil avertisseur, arrête alors le train. Il a environ un mètre pour s'arrêter. Un fois arrêté, il ouvre un petit robinet placé devant lui.

Cette ouverture a deux effets :

1° La pression restant dans le réservoir a pénétré dans les boudins et a provoqué un joint hermétique autour du couteau ;

2° Cette même pression est venue dans l'intérieur du récepteur et a pénétré dans l'intérieur du couteau en venant de haut en bas. Sous son action, un clapet différentiel qui se trouve dans l'intérieur du couteau s'ouvre et met en communication la conduite générale avec le récepteur.

L'air comprimé, en arrivant dans le récepteur, ouvre un clapet de retenue et pénètre dans le réservoir de la voiture. Lorsque l'alimentation est terminée, le clapet différentiel du couteau se referme automatiquement, puisqu'il y a équilibre de pression entre la conduite et le réservoir. Il en est de même du clapet de retenue du réservoir.

Le mécanicien est averti que l'alimentation est terminée, d'abord par l'aiguille du manomètre qui reste immobile et ensuite par un coup de sifflet automatique. Il referme donc le robinet qu'il avait ouvert, le joint se dégonfle et le couteau retombe.

L'opération entière ne dure qu'environ 15 secondes et la voiture est prête à repartir.

L'emploi de pressions relativement basses dans les réservoirs d'air permet d'obtenir un très bon rendement avec ce système de traction. Sous ce rapport, le système

Popp-Conti est plus économique que celui de M. Mekarski; mais, il faut se rappeler que les frais de premier établissement sont probablement plus grands, car il faut prévoir une canalisation sous la voie et des prises d'air automatiques. En un mot, à notre avis, le système Mekarski est à préférer, pour un service fréquent sur une ligne de faible longueur, tandis que, si la ligne a un certain développement, c'est le système de Popp-Conti qui sera tout désigné.

Pour terminer ce chapitre sur les automobiles à air comprimé, nous donnerons un aperçu du rendement des systèmes de traction Mekarski et Popp-Conti. Nous ne ferons pas intervenir les prix de revient, qui sont essentiellement variables suivant les conditions dans lesquelles on se trouve et qui, après étude et examen peuvent faire choisir l'un des deux systèmes.

Rendement des systèmes à air comprimé. — Nous appellerons rendement mécanique le rapport de l'énergie fournie par la machine à vapeur de l'usine centrale au travail correspondant disponible sur les roues de la voiture automobile.

Nous calculerons la valeur de ce rendement relativement aux systèmes Mekarski et Popp-Conti.

M. Mekarski comprime l'air à 80 kg par centimètre carré et MM. Popp et Conti à 25 kg. Or, nous pouvons admettre qu'avec les compresseurs actuels, la compression s'effectue sensiblement en suivant la loi de Mariotte.

Si nous désignons donc par n le degré de compression, le travail effectué sera

$$W_c = p_0 v_0 \log' n.$$

p_0 est égal à une atmosphère, soit 10 000 kilos par mètre carré et, comme point de comparaison, nous supposerons qu'il s'agit d'un mètre cube d'air.

Nous aurons donc

Mekarski, travail de compression $W_c = 10\,000 \log' 80$
Popp-Conti, » » $W_c = 10\,000 \log' 25$
Mekarski $W_c = 45\,200$ kilogrammètres
Popp-Conti $W_c = 32\,270$ »

Si nous admettons que le rendement des compresseurs est de 0,75, le travail que devront développer les machines à vapeur pour comprimer 1 mètre cube d'air sera :

$$\text{Mekarski } \frac{45\,200}{0{,}75} = 53\,600 \text{ kilogrammètres}$$

$$\text{Popp-Conti } \frac{32\,270}{0{,}75} = 43\,000 \quad »$$

Entre le réservoir d'air comprimé et le compresseur il n'y a presque aucune perte dans le système Mekarski ; dans celui de Popp-Conti, l'air doit parcourir toute la canalisation pour arriver à la prise d'air automatique. Il y a de ce chef une perte de charge proportionnelle à la longueur de la canalisation, que nous estimerons à 5 °/₀, de sorte qu'on aura :

$$\text{Popp-Conti, } W_c = \frac{43\,000}{0{,}95} = 45\,400 \text{ kilogrammètres.}$$

Si l'on ne réchauffait pas les gaz avant ou pendant leur détente dans le moteur, la température baisserait

d'une façon considérable, ce qui pourrait amener la congélation des vapeurs d'eau contenues dans l'air, ainsi que celle des huiles de graissage. Le rendement serait en outre très mauvais, de sorte qu'à tous les points de vue, il est recommandable de réchauffer les gaz. Presque toute la chaleur communiquée aux gaz avant leur introduction dans le cylindre se trouve intégralement transformée en travail utile, et c'est même ce mode d'utilisation de la chaleur qui permet de relever beaucoup le rendement des systèmes à air comprimé. Il est évident, en effet, que tout le travail que l'on a dépensé pour amener les gaz de la pression d'admission dans le cylindre (10 atmosphères environ) à la pression initiale qui peut varier de 25 à 80 kg par centimètre carré, est complètement perdu. Le rendement de l'ensemble de cette transformation serait donc très mauvais si l'on n'avait pas songé à réchauffer les gaz de façon à augmenter leur détente. En un mot, c'est l'utilisation presque complète de la chaleur destinée à réchauffer les gaz qui compense le mauvais rendement du système à air comprimé proprement dit. MM. Mekarski et Popp-Conti ont compris le rôle capital que joue le réchauffage de l'air, et ils ont disposé sur leurs voitures des appareils à eau chaude (250° environ), destinés à réchauffer fortement l'air comprimé avant de l'envoyer dans le moteur.

Ils sont arrivés ainsi à faire rendre 22 000 kilogrammètres et plus à 1 kg d'air comprimé, alors que sans réchauffage ils n'auraient même pas pu obtenir la moitié de ce chiffre.

En supposant que le rendement organique du moteur

soit de 0,65 en moyenne, il est aisé de calculer le travail utile fourni par 1 mètre cube d'air.

$$W_u = 22\,000 \times 1^k,23 \times 0,65 = 17\,600 \text{ kilogrammètres.}$$

Nous aurons donc finalement :

Mekarski. Rendement mécanique $\frac{17\,600}{53\,600} = 0,33$

Popp-Conti. » » $\frac{17\,600}{45\,400} = 0,39$

C'est surtout au point de vue du poids mort à emporter que le système Popp-Conti offre des avantages sérieux sur le système Mekarski ; le châssis, le moteur et le réservoir sont beaucoup plus légers, en sorte qu'une voiture automobile de 50 places ne pèsera que 10 tonnes environ. Une voiture Mekarski de même contenance pèserait 14 tonnes.

Il ressort de là que, pour transporter le même nombre de voyageurs, s'il faut n chevaux-heures avec le système Popp-Conti, il faudra $1,4n$ chevaux-heures avec le système Mekarski.

Ces chiffres ne sont évidemment pas absolus et varient suivant la distance que doit parcourir l'une ou l'autre des voitures considérées.

Pour terminer nous dirons que, tout en n'étant pas très économique, la traction par l'air comprimé est recommandable à l'intérieur des villes par sa grande propreté et par l'absence de bruit et de fumée. La conduite des voitures est facile et peut être confiée à un mécanicien peu expérimenté.

CHAPITRE VI

AUTOMOBILES A PÉTROLE

LE MOTEUR DAIMLER

Les constructeurs Panhard et Levassor, Peugeot, Gautier et bien d'autres emploient toujours sur leurs véhicules des moteurs Daimler. Ce moteur est, on peut le dire, le roi de l'automobilisme à pétrole ; c'est pourquoi nous croyons bon d'en donner une description aussi fidèle que possible. Disons d'abord quelques mots de l'inventeur.

Gottlieb Daimler, est né en 1834 à Schorndorf, petit village du Wurtemberg. Dès sa jeunesse, il montra une grande aptitude pour la mécanique et, avant même de quitter l'école, il était devenu un mécanicien habile. Une fois son apprentissage terminé, Daimler travailla dans les principales maisons de constructions de son pays, puis il alla passer quelques années en Angleterre aux Usines de la Whitworth Company. C'est là qu'il acquit en grande partie la justesse d'idées et la sûreté de main qui caractérisent le mécanicien anglais.

C'est par hasard, après avoir visité divers pays, que

Daimler se joignit au Dr Otto pour construire des moteurs à gaz. A l'époque, Otto n'était pas encore arrivé à rendre pratique ce nouveau genre de machine et, ce n'est qu'en 1872 qu'il fonda la *Gas-Motoren Fabrik* à Deutz avec la collaboration de Daimler. Les fonds nécessaires furent avancés par le conseiller Langen, de Cologne ; mais ce ne fut que dix ans plus tard que cette entreprise devint lucrative.

M. Daimler resta directeur de l'usine jusqu'en 1882 et mit au courant de sa fabrication MM. Crossley Bros, de Manchester, les aidant ainsi à réaliser leur moteur qui jouit actuellement d'une si grande réputation. A partir de cette époque, il quitta la *Gas Motoren Fabrik* et s'adonna à la construction d'un moteur à pétrole à grande vitesse et d'une légèreté inconnue jusqu'alors : il créa de toutes pièces le moteur connu sous le nom de moteur Daimler. C'est lui qui introduisit la compression préalable et l'inflammation par tube incandescent et son moteur tient encore et de beaucoup la première place en ce qui concerne le poids, la simplicité et la sécurité de marche.

Pour la première fois en 1886, Daimler appliqua son moteur à une bicyclette, et en 1887 il l'essaya sur une voiture automobile. Le résultat fut pleinement satisfaisant, et c'est certainement à Daimler à qui revient l'honneur d'avoir créé cette industrie et donné une impulsion nouvelle à la locomotion automobile. C'est à juste titre que l'on pourrait l'appeler l'inventeur de la voiture et du cycle à pétrole.

La Fig. 53 représente le dernier modèle du moteur Daimler qui réalise un grand nombre de perfectionnements sur ceux qu'il a construits jusqu'à présent.

Le moteur est à deux cylindres venus de fonte et fonctionnant simultanément : pendant que l'un se trouve à la période d'explosion, l'autre aspire le mélange gazeux qui doit être brûlé pendant la course directe suivante. A

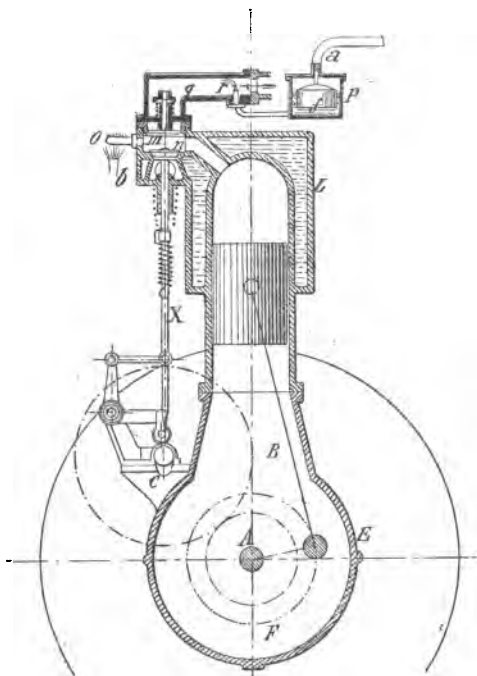


Fig. 55. — Moteur Daimler.

chaque tour il y a donc une explosion soit dans un cylindre, soit dans l'autre, ce qui assure une vitesse assez constante au moteur sans l'emploi d'un lourd volant.

Le plateau manivelle F, ainsi que les deux bielles B

sont enfermées dans une enveloppe hermétique E, laissant passer l'arbre moteur A à travers des presses étoupes étanches. L'enveloppe E se trouve en partie remplie d'huile, de sorte que les bielles, le plateau F et l'arbre A se trouvent constamment graissés; les projections d'huile qui résultent de ce mouvement assurent également le graissage du cylindre.

Comme tous les moteurs de Daimler, celui que nous décrivons est à quatre temps et effectue en deux tours les opérations suivantes :

Aspiration du mélange gazeux, compression de ce mélange, explosion et expulsion des gaz brûlés. Nous allons examiner successivement comment ces diverses périodes sont réalisées.

L'aspiration des gaz est effectuée par le piston lui-même. En descendant il fait le vide, et la soupape *m*, qui n'est maintenue sur son siège que par un petit ressort, se soulève sous l'action de la pression atmosphérique et laisse passer le mélange explosif aspiré par le tuyau *q*. La figure permet de se rendre compte comment se produit le mélange d'air et de vapeurs de pétrole. Le récipient P est mis en communication avec un réservoir d'essence de pétrole; l'admission de celle-ci est réglée par le flotteur *f* de façon à ce qu'elle ne dépasse jamais un certain niveau en P. Lorsque le pétrole atteint une certaine hauteur, le flotteur ferme automatiquement le tuyau d'amenée *a*; le contraire se produit lorsque le niveau baisse. C'est donc toujours sous la même pression que l'essence de pétrole est amenée à l'extrémité de *r* où elle est évaporée sous l'action du courant d'air créé par l'aspiration du moteur. L'air ainsi carburé passe dans le

cylindre à travers la soupape *m*, jusqu'au moment où le piston arrive à la fin de sa course.

Il est à remarquer que la presssion des gaz est alors inférieure à la pression atmosphérique d'une quantité proportionnelle à la tension du ressort agissant sur la soupape *m*.

Il en résulte que le degré de compression à la fin de la course rétrograde n'est pas égal au rapport de l'espace mort au volume total occupé par les gaz. Suivant la tension du ressort, on pourra donc faire varier dans certaines limites, la compression des gaz. M. Daimler adopte généralement une compression de 3 à 4 kg.

Après la compression, se produit l'explosion au moment où commence la seconde course directe. L'inflammation des gaz est obtenue à l'aide d'un tube de platine O porté à l'incandescence par un brûleur *b* qui, à l'aide d'un tiroir ou d'une soupape, est mis en contact avec le mélange gazeux au moment voulu.

Dans les moteurs de faible puissance on supprime souvent cette soupape supplémentaire, et on s'arrange pour obtenir automatiquement l'explosion. Pour cela, le tube de platine pris de fonte avec le cylindre est de longueur telle, que les gaz brûlés qui se trouvent dans l'espace mort sont refoulés assez loin à la fin de la compression, pour permettre au mélange explosif de venir en contact avec la partie chaude du tube de platine. En enfonçant plus ou moins le tube de platine, on peut régler le moteur pour divers degrés de compression.

Ce moyen d'obtenir l'inflammation au moment désiré ne nous semble pas très recommandable. Si, par exemple, le degré de compression vient à varier par suite d'une

fuite ou d'une tension trop grande du ressort commandant la soupape d'admission, le mélange explosif ne peut plus venir en contact avec le tube incandescent et l'allumage n'a pas lieu.

Pendant la course rétrograde, les gaz sont expulsés à travers la soupape n qui est soulevée par une tige x, attaquée elle-même par une came c disposée sur un arbre secondaire.

Ce dernier tourne deux fois moins vite que l'arbre principal de façon à ce que la came en question ne vienne agir sur la tige x que tous les deux tours. Celle-ci est montée sur charnières et à l'aide d'un système de leviers représentés sur la figure ; un régulateur à force centrifuge peut écarter la tige x de sa position normale si la vitesse du moteur dépasse une certaine limite. La came c ne vient plus alors attaquer x et la soupape reste sur son siège. Les gaz brûlés seront donc comprimés, puis détendus dans la course directe suivante qui correspond à l'aspiration sans que des gaz nouveaux soient introduits dans le cylindre. On aura donc ainsi supprimé une explosion, ce qui permettra au moteur de revenir à sa vitesse de régime.

Le moteur est, comme nous l'avons dit, constitué par deux cylindres pris de fonte et fonctionnant tous deux comme nous venons de le dire. Ils sont un peu inclinés l'un par rapport à l'autre, mais les bielles des pistons viennent attaquer le même plateau A. L'ensemble permet d'avoir une explosion par tour.

Le même régulateur d'essence de pétrole sert pour les deux. L'arrivée de pétrole du grand réservoir disposé sur la voiture est obtenu à l'aide d'une petite pompe à

air qui est solidaire du moteur et qui est actionnée par une petite partie des gaz provenant de l'échappement. Cette même pompe sert également à envoyer le pétrole dans les brûleurs *b*.

Les deux cylindres sont refroidis par une circulation d'eau dans une enveloppe L entourant les deux cylindres. Après avoir passé dans l'enveloppe, l'eau se rend dans un volant creux entraîné par le moteur ; elle a pour but de refroidir la masse liquide en favorisant l'évaporation. Un ajutage fixe recueille l'eau circulant dans le volant creux ; sous l'effet de la force centrifuge, elle est renvoyée dans un réservoir placé à l'avant de la voiture. De là elle se rend de nouveau dans l'enveloppe du moteur.

Pour terminer ce que nous avons à dire sur le moteur Daimler, nous ferons remarquer combien la mécanique en est simple et robuste. Pas de graisseurs, deux soupapes seulement, une explosion par tour, un carbonateur automatique réduit à sa plus simple expression, une circulation d'eau assurée, grande vitesse de rotation (700 tours par minute) : telles sont les caractéristiques de ce moteur.

Afin d'éviter les trépidations du moteur, Daimler le suspend entièrement sur des ressorts fixés à la caisse de sa voiture et attaque l'arbre intermédiaire par quatre courroies. Normalement, ces courroies se trouvent détendues ; mais, à l'aide d'un levier on peut faire agir un tendeur sur l'une quelconque d'entre elles, ce qui permet d'obtenir quatre vitesses différentes. L'arbre intermédiaire attaque, à l'aide d'un pignon, une roue dentée placée sur une des roues motrices.

Le grand reproche que l'on peut faire au moteur Daimler est de ne pas être *équilibré*. Les deux pistons et les deux bielles descendent en même temps ; il s'en suit que les masses en mouvement passent d'une vitesse v dans le sen descendant à une vitesse $-v$ dans le sens contraire. La variation de vitesse à la fin de chaque course est donc de $2v$, ce qui amène une pression qui peut devenir considérable sur le bouton de la manivelle.

Pour bien nous rendre compte de l'effet perturbateur pû à ces changements de vitesse, considérons la Fig. 56,

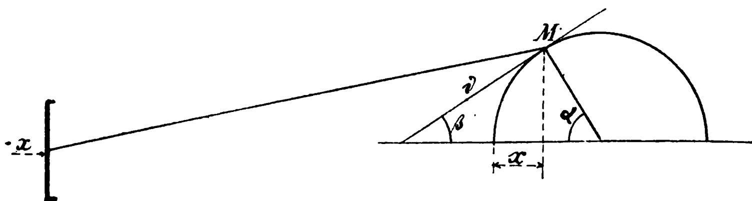


Fig. 56.

et déterminons la valeur de la pression sur le bouton de la manivelle M due aux masses en mouvement.

Désignons par P le poids du piston et de la manivelle et calculons quelle est à chaque instant la vitesse et l'accélération de ces masses représentées par $\frac{P}{g}$.

Pour simplifier le problème, nous supposerons la manivelle animée d'un mouvement de rotation uniforme dont nous désignerons par v la vitesse circonférentielle au point M. Nous supposerons également la bielle infinie.

La vitesse de translation du piston et de la bielle sera représentée par

$$v' = \frac{dx}{dt} = v \cos \beta = v \sin \alpha,$$

d'ou l'accélération,

$$\gamma = \frac{dv'}{dt} = v \cos \alpha \frac{d\alpha}{dt} = \frac{v}{r} \cos \alpha \, r \frac{d\alpha}{dt}.$$

Or,

$$v = r \frac{d\alpha}{dt};$$

d'où

$$\gamma = \frac{v^2}{r} \cos \alpha = \frac{v^2}{r} \frac{r - x}{r} = \frac{v^2}{r^2} (r - x).$$

La pression sur M due aux masses en mouvement sera donc

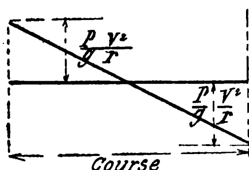
$$(A) \qquad p = \frac{P}{g} \gamma = \frac{P}{g} \frac{v^2}{r^2} (r - x).$$

Si nous portons les valeurs de p en ordonnées et les chemins parcourus par le piston en abcisses, nous obtiendrons le diagramme représenté sur la Fig. 57. Il représente graphiquement le fait que, au commencement de la course la pression en M est positive et tend à retarder la marche du moteur. Au milieu de la course cette pression s'annule et change de sens pour accélérer la vitesse du point M à la fin de la course.

Au commencement de la course rétrograde, c'est l'inverse qui se produit et la pression tend de nouveau à arrêter le moteur. Le sens de la pression n'a donc pas

changé sur le bouton de la manivelle. Mais, tel ne sera plus le cas au commencement de la course directe où se produira l'explosion.

Celle-ci poussera toutes les masses en avant et tendra à faire tourner la machine plus vite au lieu de l'arrêter. Il y aura donc un changement brusque de l'effort qui, au lieu d'arrêter le moteur le poussera en avant et, s'il y a un peu de jeu dans la tête de bielle, il en résultera un choc d'autant plus préjudiciable qu'il augmentera encore le jeu existant. Ainsi que nous l'avons vu, il y a un changement de sens de l'effort au milieu de chaque course lorsqu'il n'y a pas d'explosion.



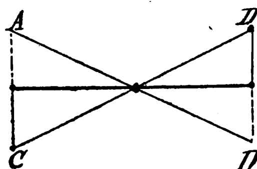


Fig. 57.

Pour éviter les pressions considérables dues aux pièces en mouvement, à la fin et au commencement de chaque course, le moyen le plus simple est de mettre deux cylindres en opposition. La pression résultante de l'action de la masse des deux pistons et des deux manivelles sera nulle, ainsi que le représente la Fig. 57. Il ne pourra y avoir ni chocs, ni trépidations, et la machine ainsi constituée sera dite *équilibrée*.

M. Daimler, sans doute pour des considérations d'ordre pratique, n'a pas cru utile d'adopter ce dispositif, et c'est pour cette raison que sa machine est un peu bruyante. Le ressort qu'il emploie pour soutenir son moteur a, du reste, pour effet d'amortir beaucoup les vibrations.

Il nous est difficile de donner un chiffre exact de la consommation de ce moteur ; mais, d'après ce que l'on dit, elle doit être au-dessous d'un demi litre d'essence à 700° par cheval et par heure.

VOITURES A PÉTROLE DE MM. PANHARD ET LEVASSOR

Il y a déjà près de 10 ans que MM. Panhard et Levassor se sont adonnés à la construction de voitures automobiles à pétrole. Ils ont adopté le moteur de Gottlieb Daimler qui lui-même est venu monter leur usine et les mettre au courant de tous les secrets de sa fabrication, et depuis, ils sont restés propriétaires exclusifs de tous les brevets Daimler pour la France.

Avec les conseils de l'inventeur et après de longues années d'expérience, MM. Panhard et Levassor sont arrivés à créer un type de voiture réellement robuste et pratique. Pour apprécier la valeur de leur construction, il suffit de se rapporter à la course de Paris-Bordeaux de l'année dernière où M. Levassor couvrit, avec sa voiture à deux places n° 5, la distance de 1 200 kilomètres en 48 heures 47 minutes, ce qui constitue une vitesse moyenne de près de 25 kilomètres à l'heure. Que peut-on demander de plus, et quelle est la locomotive même qui pourrait aller de Paris à Bordeaux et retour sans se reposer et laisser refroidir ses organes échauffés et grinçants ! Il n'y en a probablement pas.

Il convient d'ajouter que la prouesse accomplie par la voiture n° 5, qui arriva avec une avance de près de cinq heures, a dû son succès en grande partie à son habile et énergique conducteur, M. Levassor.

Ce dernier a conduit sa voiture avec une audace quelquefois dangereuse pour sa propre vie, mais toujours inoffensive pour son moteur. Il ne l'a jamais surmené au risque de fatiguer ses organes et s'est toujours tenu plutôt au-dessous de la puissance qu'il pouvait développer. Il n'a confié à personne le soin de diriger *sa machine* dont il a surveillé les moindres caprices pendant les 48 heures qu'elle a mis à effectuer le parcours.

Le moteur, nous l'avons dit, est un moteur genre Daimler. La Fig. 58 en montre une vue d'ensemble.

L'admission se fait automatiquement et l'émission est commandée mécaniquement par une soupape qui, à l'aide du dispositif que nous avons déjà décrit, ne se soulève pas lorsque la vitesse du moteur dépasse la vitesse de régime. Il en résulte qu'une nouvelle admission ne se produit pas à la course suivante et par conséquent il n'y a pas d'explosion et le moteur se ralentit. Le mouvement est transmis aux roues motrices à l'aide de chaînes et d'engrenages.

Relativement au moteur lui-même, M. Levassor n'a voulu nous donner aucun renseignement inédit sur sa fabrication et, comme nous avons déjà décrit le moteur Daimler, nous n'insisterons pas davantage sur celui que l'on applique aux voitures Panhard. Nous dirons cependant que, comme dans le moteur Daimler, l'allumage se fait par tube incandescent et qu'il se produit lorsque les gaz neufs ont acquis une compression suffisante pour venir en contact avec le tube, malgré la présence d'une certaine quantité de gaz brûlés qui sont refoulés au fond du cylindre et de la capsule. L'explosion a lieu au huitième environ de la course descendante.



Fig. 58. — Moteur Phénix, système Daimler.

Comme lè moteur Daimler, il a le défaut de ne pas être équilibré et, par conséquent, de donner lieu à des trépidations souvent ennuyeuses.

La Fig. 59 montre une vue d'ensemble de la voiture n° 5 qui gagna la course de Paris-Bordeaux. Les organes de manœuvre sur la voiture se composent du levier de



Fig. 59. — Voiture à deux places, avec capote.

direction, qui se fait par essieu brisé, du levier de changement de marche, du frein et enfin d'un pointeau régulateur agissant sur l'admission du pétrole dans le carburateur.

Ces voitures marchent très bien, et, de l'avis de plusieurs personnes désintéressées qui en possèdent, ne

demandent presqu'aucun entretien ; il suffit pour les nettoyer de verser de temps en temps de l'huile de pétrole dans les cylindres. Elles peuvent marcher à une vitesse de 18 à 25 kilomètres sur terrain plat et à une vitesse moyenne de 8 kilomètres dans les côtes.

VOITURES PEUGEOT

Dans la course de Paris-Bordeaux, après la voiture conduite par M. Levassor, les trois premières places furent conquises par des voitures Peugeot. D'après les règlements de la course, seule une voiture à quatre places pouvait prétendre au premier prix, de sorte que, tout en arrivant quatrième, c'est la voiture à quatre places de Peugeot qui remporta la somme de 30 000 francs constituant le premier prix.

C'est encore le moteur Daimler qui actionne ces voitures et c'est la maison Panhard et Levassor qui a été chargée de leur construction.

Ainsi que le montre la Fig. 60, le moteur employé ne diffère pas sensiblement du moteur Daimler tel que nous l'avons décrit, et c'est surtout dans l'agencement général de la voiture que nous trouverons quelques nouveautés. Le dispositif adopté par la maison Peugeot est indiqué sur la Fig.61. Le moteur A, ainsi que le carburateur, sont directement montés sur le châssis en tube d'acier de la voiture. A l'aide d'un embrayage G, le moteur peut actionner l'arbre intermédiaire mobile portant trois pignons en acier H. Un levier Q peut faire avancer ou reculer cet arbre, manœuvre qui a pour résultat d'embrayer ou de désembrayer le moteur.

Suivant la position du levier Q, c'est un des trois pignons qui vient attaquer une des roues dentées en bronze I correspondant à diverses vitesses du moteur. L'arbre portant les roues I attaque à l'aide de deux roues d'angle un troisième arbre intermédiaire qui communique le mouvement aux roues à l'aide de deux

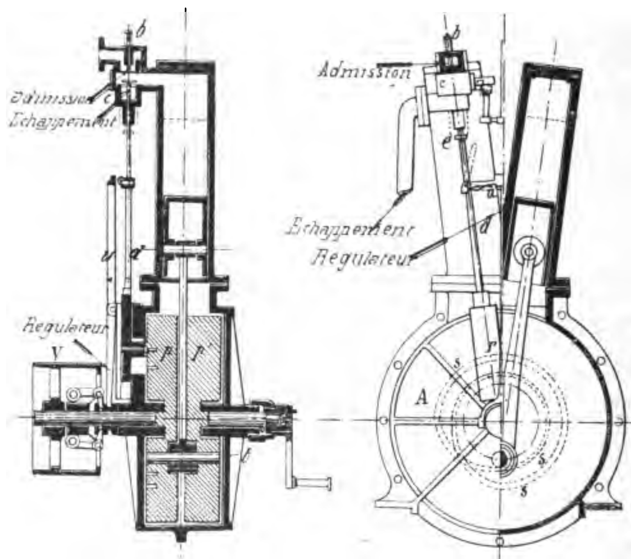


Fig. 60. — Moteur Daimler appliqué aux voitures Peugeot.

chaînes Gall ee_1. Le tout, nous l'avons dit, est fixé rigidement sur le châssis ; les roues motrices sont montées sur deux ressorts longitudinaux. L'avant de la voiture est porté par un seul ressort transversal, fixé sur le châssis de la voiture par un tourillon T, et relié à ses deux extrémités à l'essieu d'avant par deux petites bielles *a* et *b*, ainsi que le montre la Fig. 62.

Il en résulte que l'essieu a deux mouvements : 1° un

Fig. 61. — Voiture Peugeot. Dispositions mécaniques.

mouvement de balancement autour du tourillon ; 2° un mouvement d'oscillation de *a* et *b* résultant de la flexion du ressort. Il est guidé dans ces deux mouvements presque toujours simultanés par deux

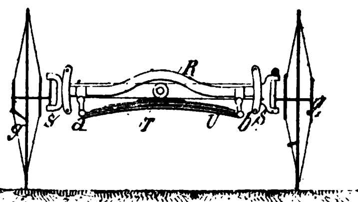


Fig. 62.

coulisses S. Ce mode de suspension a pour effet de laisser constamment le siège horizontal, que ce soit l'une ou l'autre des roues qui provoque ces mouvements. La direction s'effectue par essieu brisé à l'aide d'un levier commandant une roue dentée Q reliée à la roue directrice au moyen d'une chaîne.

La voiture est également munie d'un réservoir d'eau E destinée à refroidir le moteur, et de deux freins agissant simultanément sur une des deux poulies N et N_1 faisant corps avec les roues motrices, et sur l'arbre intermédiaire L. Le petit tableau ci-dessous donne les dimensions et les poids des divers types de voitures fabriquées par la maison Peugeot.

Désignation des types	Force en chevaux	Poids approximatif de la voiture	Longueur	Largeur	Charge maximum y compris le conducteur
Voiture à 2 places.	1 1/2	400 kg	2m15	1m32	150 kg
Vis-à-vis.	2 1/2	600 —	2 55	1 42	300 —
Phaéton	2 1/2	600 —	2 65	1 42	300 —
Victoria à 3 places.	2 1/2	580 —	2 75	1 42	250 —
— 4 —	3 1/4	650 —	2 75	1 42	320 —
Braek.	3 1/4	750 —	2 70	1 42	400 —

Ajoutons pour compléter ces renseignements que la dépense en pétrole par kilomètre varie de 4 à 5 centimes et que la dépense d'huile est insignifiante. La contenance du réservoir à pétrole varie de 20 à 25 litres, suivant le type de voiture ; pour le refroidissement des cylindres, la quantité d'eau nécessaire varie de 25 à 40 litres.

Les voitures Peugeot sont souvent munies de mouvements à bille.

Les rayons, de la même qualité que ceux des vélocipèdes, sont en acier mi-dur, résistant à 100 kg par millimètre carré de section ; ils assurent un parfait service et ne se cassent jamais. En tout cas, il serait facile de remplacer ; pour les fixer il ne faut d'autre outillage qu'une clef spéciale qui est livrée avec la voiture.

Les rayons de roues ont donné naissance à une industrie spéciale, dérivée de celle du tréfilage et qu'il est indispensable de citer. Nous avions d'abord les rayons droits, nous avons maintenant presque partout les rayons tangents, plus faciles à réparer et à remplacert et donnant une plus grande élasticité. Ces rayons son, faits en acier de diverses qualités, doux, demi-dur ou extra-dur.

Dans des études publiées sous la signature de M. Beaujouan, ingénieur-électricien distingué, sur la fabrication des vélos, le *Génie Civil* du 30 avril 1892, et plus récemment le *Cosmos* du 11 août 1894, citaient l'opinion de M. Jonte sur le travail de la résistance des rayons dans les termes suivants :

« Un spécialiste bien connu, M. Jonte, ingénieur, E.C.P. ancien directeur à Paris des Forges de Franche-Comté, expert au ministère du commerce, s'étant occupé des fils pour ponts suspendus, télégraphie, câbles de mines et de la marine, a déterminé scientifiquement le travail des rayons, qui, en aucun cas, ne demande plus de 20 kg par millimètre carré de section. — Or les rayons de vélos résistent couramment à 75 kg et même davantage. (La moyenne est de 100 kg par millimètre carré).

Les développements techniques qui complètent cette

étude détruisent l'innocente légende de 200 et même de 250 kg par millimètre carré, dont l'impossibilité ne se démontre pas.

En effet, l'emploi d'un acier très dur rendrait les rayons cassants au choc dans les parties coudées et taraudées ; et il serait pour ainsi dire impossible d'obtenir, sur un rayon de 2 millimètres et à plus forte raison sur un diamètre plus petit, un taraudage résistant même à 75 kg de traction par millimètre carré.

D'ailleurs, on n'a jamais vu un rayon rompu à la tige, sous l'effort de la traction normale qu'il supporte dans le travail.

Les roulements à billes ont fait leurs preuves dans toute la mécanique et surtout appliqués aux vélocipèdes ; ils étaient tout désignés à la maison Peugeot, dont les bicyclettes sont bien connues.

Les jantes caoutchoutées avaient également leur emploi pour ces légers véhicules. Le caoutchouc qui garnit les roues est vulcanisé à même les jantes et se compose de plusieurs bandes de 5 millimètres d'épaisseur environ, enduites de dissolution en qualité dure au fond des jantes.

Les bandages en caoutchouc employés par la Maison Peugeot sont fabriqués par la Maison Torrilhon et la Maison Edeline.

Les petites voitures peuvent être munies de roulement à billes simples, mais, pour les voitures de 6 000 kg et au delà on fait des roulements à deux et trois rangées de billes.

S'inspirant de la structure des vélocipèdes, MM. Peugeot ont voulu par une assimilation heureuse faire bé-

néficier leurs voitures des dispositions empruntées à la bicyclette.

Le châssis tout entier sur lequel repose la caisse portant les voyageurs est en tube d'acier étiré à froid. Les assemblages sont faits à l'aide de pièces en fer forgé ou fondu.

Cette construction assure aux voitures une grande résistance sous un faible poids et permet également de refroidir l'eau qui circule autour des cylindres, en la faisant passer dans tout le système tubulaire de la voiture.

VOITURES ROGER

Les voitures à pétrole de M. Roger n'ont guère fait parler d'elles jusqu'à ce jour. Elles sont pourtant d'une construction robuste, et la simplicité du moteur Benz en fait un véhicule de tout premier ordre.

Car, ce qu'il faut avant tout, c'est pouvoir vérifier et démonter soi-même son moteur sans l'aide d'un mécanicien spécialiste. La Fig. 63 donne une vue générale de la voiture, dont l'élégance ne laisse rien à désirer. Le schéma de la construction et du dispositif de changement de marche est indiqué sur la Fig. 64.

Le véhicule se distingue de ses congénères par les dispositions suivantes : son moteur est à quatre temps et à un seul cylindre A ; ses organes de distribution sont aussi réduits que possible ainsi que nous le verrons plus loin. Il tourne à 300 tours seulement et sa disposition ho-

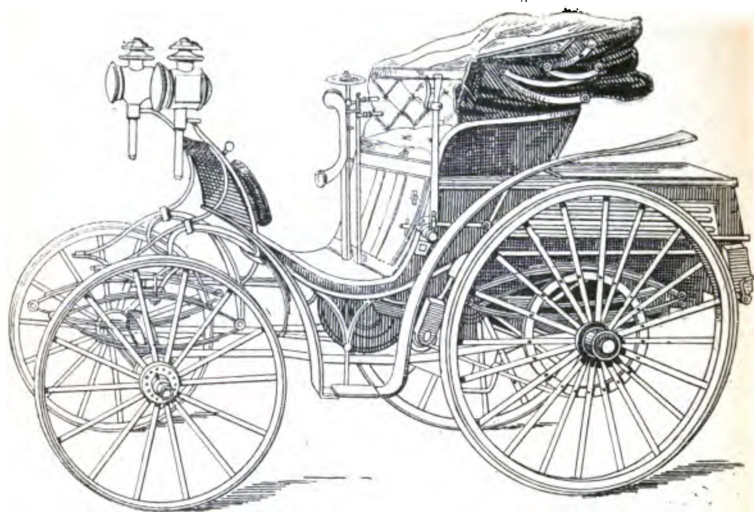


Fig. 63. — Voiture Roger

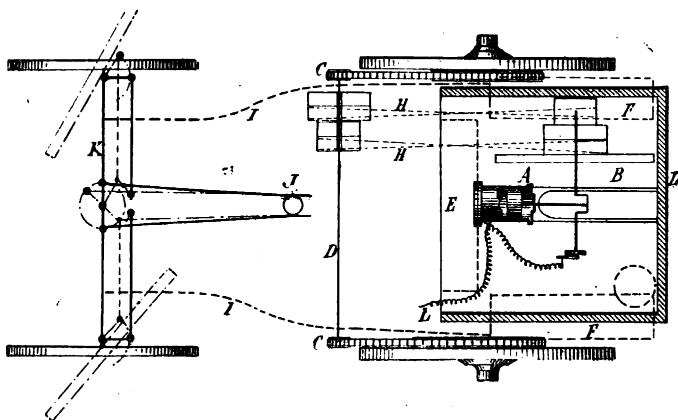


Fig. 64. — Mécanisme de la voiture Roger,

rizontale supprime les trépidations de bas en haut, si fatigantes pour les voyageurs et qui constituent le plus grand désagrément du moteur Daimler. Il est placé à l'arrière à hauteur d'homme, facilement visible et accessible dans toutes ses parties.

La transmission du mouvement se fait par courroies Bien qu'il ne soit pas exempt d'inconvénients, ce système a l'avantage de supprimer les engrenages et les chocs en cours de route provenant des aspérités du terrain. L'inconvénient principal de cette transmission est de nécessiter un réglage fréquent des courroies qui se détendent sous l'influence de l'humidité de l'air.

La direction est agencée de telle façon que la rencontre du plan des deux roues directrices est sur l'axe de l'essieu d'arrière, résultat que l'on obtient par la direction à essieu brisé, commandée par un dispositif spécial. On arrive ainsi à supprimer tout effort latéral sur les roues.

La voiture peut faire une moyenne de 20 kilomètres à l'heure sur bonnes routes.

Une compagnie vient d'être fondée, paraît-il, pour l'exploitation de fiacres automobiles système Roger. Vu la simplicité du mécanisme qui caractérise les voitures de ce système, il est possible que de simples cochers puissent conduire ces automobiles. Nous croyons cependant que la tentative est un peu prématurée et nous aurions désiré quelque chose de plus nouveau et de plus perfectionné avant de voir entrer les automobiles à pétrole dans cette voie décisive qui démontrera si oui ou non elles sont arrivées au degré de perfection que réclame le service qu'on en demande.

Moteur Benz. — Le moteur Benz appliqué aux voitures construites par M. Roger est à quatre temps et à

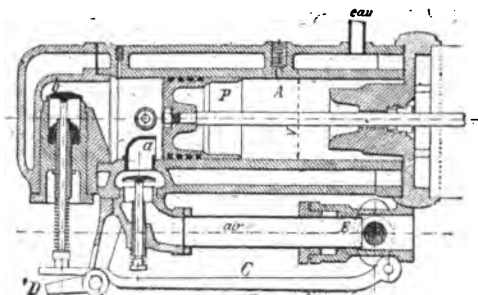


Fig. 65. — Moteur Benz. Coupe.

inflammation électrique. Nous donnerons une courte description de ce moteur ; mais, nous dirons d'abord quel-

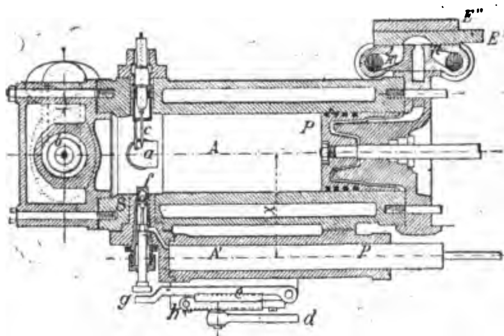


Fig. 66. — Moteur Benz. Coupe.

ques mots du moteur Benz à deux temps qui nous paraît intéressant à plusieurs points de vue.

Les Fig. 65 et 66 montrent deux coupes du moteur.

C'est par une erreur du dessinateur que le piston est représenté dans deux positions différentes sur ces figures.

Comme organes de distribution, le moteur comprend trois soupapes *a*, *b* et *s* et un tiroir E′ qui, ainsi que nous allons le montrer, permettent d'obtenir les phases suivantes.

Course directe : explosion du mélange gazeux et compression d'air frais dans un réservoir E.

Course rétrograde : expulsion des gaz brûlés, purge automatique et compression d'un nouveau mélange gazeux.

Voici ce qui se passe : Pendant la course directe les gaz, qui sont comprimés dans l'espace mort, sont allumés par une étincelle électrique produite à l'extrémité d'une bougie c par un dispositif que nous décrirons plus bas. Sur l'autre face du piston, l'air frais qui se trouvait dans le cylindre est refoulé dans un réservoir spécial E par un orifice pratiqué dans le tiroir E′. Dès que le piston est arrivé à fond de course, le tiroir E′ isole le réservoir E et met cette partie inférieure du cylindre en communication avec l'atmosphère. Il s'en suit donc que pendant la course rétrograde le piston aspire une nouvelle provision d'air qui sera chassée dans le réservoir E pendant la course directe suivante. En même temps, pendant la course rétrograde, les gaz brûlés sont expulsés dans l'air à travers la soupape *b* et, pour purger complètement le cylindre, la soupape *a* est ouverte lorsque le piston est arrivé à la moitié environ de sa course rétrograde, de sorte que tout l'air contenu en E balaie le cylindre et ressort par la soupape *b*. Immédiatement après, les soupapes *a* et *b* se referment automatiquement

11*

et l'air frais contenu dans le cylindre est comprimé jusqu'à la fin de la course. En même temps, une pompe A injecte des vapeurs de pétrole dans le cylindre à travers une soupape S qui est ouverte automatiquement par un levier *g*, et le mélange explosif ainsi constitué est prê à être enflammé au commencement de la course suivante.

Nous n'avons pas de données exactes sur le carburateur ; mais, il est probable que la pompe A′ se trouve simplement en communication avec un réservoir d'essence légèrement chauffé. Pendant la course directe du moteur, la pompe aspirerait des vapeurs de pétrole à travers une petite soupape qui retomberait d'elle-même sur son siège pendant l'introduction des vapeurs carburées dans le cylindre.

L'allumage est effectué à l'aide d'un appareil qui se place sur le côté du cylindre.

Une bobine et un aimant permanent constituent une petite machine magnéto-électrique.

Un arbre secondaire actionné par une transmission, fait tourner la bobine qui engendre un courant électrique. Un des pôles de la bobine est mis en communication directe avec un fil isolé dans la bougie d'allumage C. L'extérieur de cette bougie est en communication avec la masse du moteur, et l'autre pôle de la bobine n'est mise en communication avec cette dernière qu'au moment précis où l'allumage doit se faire. C'est une came et une série de leviers dont il est aisé de comprendre le jeu, qui sont chargés d'établir ce contact et, par conséquent, de déterminer l'étincelle qui provoque l'explosion du mélange tonnant.

Les organes assez nombreux et encombrants de ce moteur à deux temps en a fait rejeter l'emploi sur les voitures Roger. Il serait cependant susceptible de simplifications et, comme à volume égal du cylindre, il pourrait donner une puissance double de celle fournie par un moteur à quatre temps, il nous paraît regrettable qu'il ne soit pas employé comme moteur de voiture. Le couple moteur serait également beaucoup plus constant et, une circulation d'eau bien comprise empêcherait parfaitement un excès d'échauffement dû au grand nombre d'explosions qui se produisent dans le moteur.

A notre avis, son seul défaut est d'être un peu compliqué.

Moteur Benz à quatre temps. — Le moteur Benz à quatre temps est sensiblement pareil à celui que nous venons de décrire. Il est beaucoup plus simple cependant, puisque l'avant du cylindre est ouvert et que l'on ne comprime plus les gaz avant leur introduction dans le moteur. On supprime donc le tiroir dont nous avons parlé et les organes de distribution qui en dépendent, de sorte qu'il ne reste plus que deux soupapes pour l'admission et l'émission du mélange gazeux. Il est à remarquer que les soupapes doivent être bien guidées pour venir s'appliquer sur leurs sièges, malgré leur position horizontale.

AUTOMOBILES GLADIATOR

Non contente de la renommée universelle qu'elle s'était acquise dans la fabrication des cycles, la Maison Gladiator, dont M. Darracq est l'habile directeur technique, a créé en moins de six mois trois types nouveaux de véhicules automobiles : un tricycle, un quadricycle à deux places et enfin une élégante petite voiture que tout le monde a pu admirer au dernier Salon du cycle.

Les Fig. 67, 68 et 69 représentent ces trois automobiles.

Les moteurs du quadricycle et de la voiture sont sensiblement les mêmes, tous deux horizontaux, tandis que le moteur du tricycle est vertical.

Il est disposé à l'avant du tricycle et commande la roue d'arrière à l'aide de deux chaînes et d'un arbre intermédiaire sur lequel sont également montées deux manivelles et deux pédales comme dans un tricycle ordinaire. Cette disposition permet au cavalier d'aider son moteur dans les endroits difficiles ou les côtes trop raides ; il sert également à la mise en marche du moteur, manœuvre que l'on est obligé d'effectuer sur les voitures à l'aide d'une manivelle spéciale.

Les roues de devant sont directrices et montées sur essieu brisé, commandé par le guidon du tricycle.

L'échappement se fait dans la partie inférieure d'une boîte qui contient également le réservoir de gazoline, dispositif qui a pour effet de favoriser la vaporisation

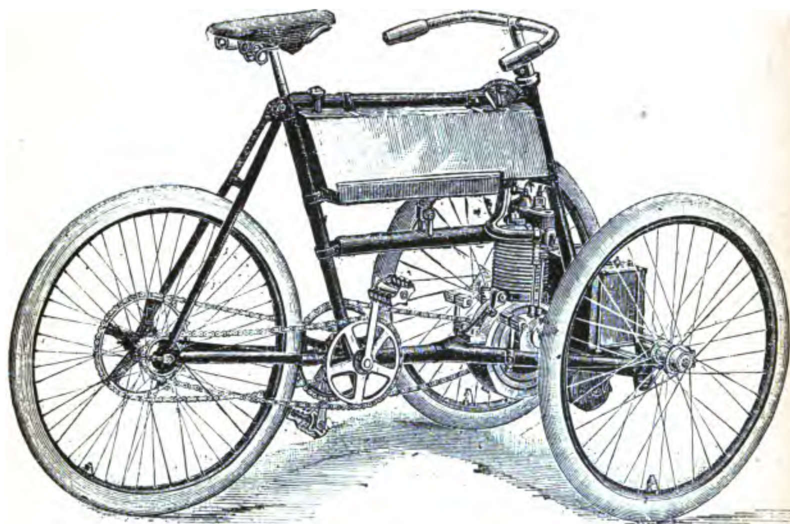


Fig. 67. — Tricycle Gladiator

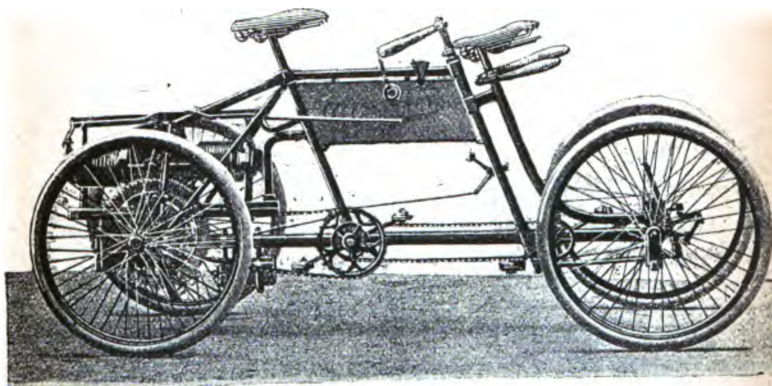


Fig. 68. — Quadricycle Gladiator.

de cette dernière. La quantité de vapeurs carburées qui est aspirée dans le moteur avec l'air est réglée par un pointeau.

Le moteur que nous décrivons plus loin, peut faire 600 tours par minute et développer environ 50 kilogrammètres, puissance qui est amplement suffisante pour atteindre des vitesses de 25 kilomètres à l'heure sur bonnes routes.

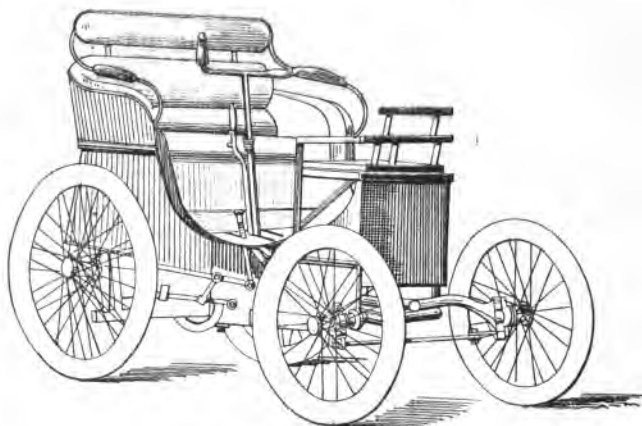


Fig. 69. — Petite voiture Gladiator.

Le quadricycle (Fig. 68) ne présente aucune disposition spéciale. Les roues d'avant sont directrices et commandées de la même manière que celles du tricycle. Les roues d'arrière sont motrices et munies d'un mouvement différentiel. Le moteur les attaque directement à l'aide d'une série d'engrenages et, comme pour le tricycle, deux paires de pédales peuvent servir à aider le moteur et à le faire démarrer. On ne peut pas désem-

brayer le moteur ; mais, lorsque l'on veut le pousser à la main on peut supprimer la compression. Le même moyen est employé pour le tricycle.

Le moteur du quadricycle peut donner jusqu'à 2 chevaux ; il est semblable au moteur du tricycle et présente comme lui l'inconvénient de ne pas être équilibré.

La Fig. 69 représente une petite voiture à deux places à la fois élégante et légère. Elle comporte une direction par essieu brisé, un changement de marche et un pointeau agissant sur l'admission des vapeurs de pétrole.

En charge, c'est-à-dire pourvue de 22 litres d'eau, 20 litres d'essence de pétrole d'une densité de 680° à 710°, et de trois litres d'huile minérale pure, la voiture ne pèse encore que 200 kg.

La provision de pétrole est suffisante pour une marche de quinze heures en terrain moyen avec une vitesse de 25 kilomètres à l'heure.

La vitesse moyenne du moteur est de 500 tours par minute sous un poids de 50 kg ; il peut développer près de quatre chevaux effectifs.

La voiture est aménagée de façon à pouvoir marcher à deux vitesses différentes ; les vitesses intermédiaires sont obtenues en agissant sur l'arrivée du pétrole.

Nous devons à l'obligeance de M. Darracq de pouvoir reproduire les dessins d'exécution du moteur de la voiture.

Ce dernier, représenté sur la Fig. 70 est horizontal et à deux cylindres parallèles dont un seul est représenté sur le dessin. Le bâti du moteur se compose de trois

pièces en fonte qui viennent se boulonner en n_1n_1, et n_2n_2. La première pièce comprend la boîte d'explosion et le fond du cylindre, la seconde le cylindre proprement dit et, enfin, la troisième, l'enveloppe hermétique dans laquelle la manivelle tourne dans un bain d'huile.

Fig. 70. — Moteur de la voiture Gladiator.

On aurait pu à la rigueur fondre le tout en deux parties seulement, mais, les difficultés d'ordre pratique que l'on aurait rencontrées, pour fondre et travailler le moteur n'auraient pas compensé l'avantage d'obtenir un ensemble plus simple et la réduction d'un joint.

Les deux cylindres, dont nous ne décrirons qu'un seul, travaillent simultanément, mais l'explosion dans un des cylindres se fait pendant que l'autre est à la période

d'aspiration, ce qui permet d'obtenir une explosion par tour comme dans le moteur Daimler.

Le moteur est à quatre temps, et le refroidissement est obtenu à l'aide d'une circulation d'eau dans une enveloppe E entourant la chambre d'explosion seulement. Le tuyau *m* débouche dans un appareil de circulation destiné à refroidir l'eau. En *b* se trouve un brûleur genre Longuemarre, relié à un réservoir spécial d'essence minérale. Pour mettre le brûleur en marche, il faut maintenir pendant quelques instants, à l'aide d'une petite pompe, une pression suffisante dans le réservoir d'essence ; mais, une fois le moteur en marche, l'alimentation se fait automatiquement. Le brûleur sert à porter à l'incandescence une petite éprouvette en platine *t* destinée à l'inflammation des gaz.

L'arrivée des vapeurs de pétrole se fait par le tuyau ρ et l'arrivée d'air par le tuyau *a*. Le mélange se produit dans la chambre G et peut être réglé par la clef R. Le carburateur pouvant être quelconque, nous ne le décrirons pas.

L'aspiration se fait automatiquement par la soupape *s* munie d'un ressort *r* destiné à la faire retomber sur son siège après chaque aspiration. Le siège des soupapes, ainsi que les soupapes elles-mêmes, sont en acier cementé et rectifié de façon à éviter toute usure pouvant déterminer des fuites. La soupape s' munie d'un ressort puissant r' est commandée mécaniquement par le levier *l*. Celui-ci appuie sur la soupape de façon à l'ouvrir tous les deux tours ; pour réaliser ce mouvement, il est attaqué par une came K' montée sur un axe intermédiaire ne faisant qu'un tour pendant que l'arbre prin-

cipal en fait deux. Les roues dentées 1 et 2, représentées en pointillé, sont dans le rapport de 1 à 2 de façon à obtenir la réduction voulue de la vitesse angulaire. La came K″ que l'on voit sur le dessin est clavetée sur le même axe que la came K′ ; elle sert à attaquer le levier correspondant à l'autre cylindre et se trouve décalée de 180° par rapport à K′, de sorte que l'émission se fait dans le second cylindre un tour plus tard que dans celui que nous décrivons, puisque l'arbre intermédiaire tourne moitié moins vite que l'arbre principal.

Le ressort n sert à maintenir le levier l en contact avec la came K′.

L'échappement passe par le tuyau n_1 et se rend dans la boîte B destinée à étouffer le bruit qu'il produit. A cet effet, B est divisé en deux compartiments remplis de copeaux d'acier dont la grosseur va en augmentant à mesure que l'on se rapproche de la sortie à l'air libre. La section offerte à l'échappement va ainsi en augmentant de façon à détendre graduellement les gaz avant leur échappement définitif.

Le rapport du volume total à la fin de la course directe, au volume balayé par le piston est d'environ $\frac{24}{15}$, en sorte que la compression à la fin de la course doit monter à environ 1^{kg},6 par centimètre carré. Cette valeur du degré de compression est assez faible, et il est probable qu'après l'explosion la pression ne doit pas s'élever beaucoup au-dessus de 10 à 12 kg par centimètre carré, ainsi qu'on peut s'en rendre compte en consultant les tables du Chap. III. La longueur de l'éprouvette t a été déterminée de façon à ce que les gaz neufs n'arrivent en contact avec la partie incandescente qu'à la fin de la

compression, après le refoulement des gaz brûlés de l'explosion précédente.

Nous ne nous appesentirons pas davantage sur la description de ce moteur dont toutes les dimensions sont données à l'échelle sur le dessin et constituent à ce point de vue un document précieux pour les constructeurs.

Le moteur du quadricycle, diffère peu de celui dont nous venons de parler. Il est horizontal, mais les deux cylindres sont en opposition et les deux bielles des pistons viennent attaquer le même bouton de manivelle. La carcasse est fondue en quatre parties : les boîtes d'explosion et le fond des cylindres, les cylindres, et enfin l'enveloppe composée de deux pièces boulonnées.

Il n'y a pas de circulation d'eau ; de simples ailettes venues de fonte avec le cylindre assurent le refroidissement par l'air ambiant. L'allumage est électrique et se produit à l'extrémité d'une bougie qui sert à amener le courant.

Les deux soupapes de chaque cylindre sont horizontales, ce qui ne nous semble pas recommandable. Elles sont commandées mécaniquement par deux cames montées sur une arbre intermédiaire qui tourne deux fois moins vite que l'arbre principal. Cette démultiplication est obtenue à l'aide de deux engrenages dans le rapport de 1 à 2.

Comme dans le moteur de voiture, un des cylindres se trouve à la période d'aspiration pendant que l'autre est à la période d'explosion. Des ressorts agissent sur les soupapes de façon à les faire retomber sur leurs sièges. La manivelle est constituée par deux plateaux clavetés sur l'arbre principal et réunis par le bouton

de manivelle. Les plateaux barbottent dans l'huile contenue dans l'enveloppe hermétique, ce qui assure un bon graissage de tous les organes de la machine.

La course de chaque piston est de 75 millimètres et le degré de compression est sensiblement le même que celui du moteur de voiture. La puissance du moteur est d'environ deux chevaux effectifs à la vitesse de 400 tours par minute, et la consommation d'essence minérale atteint $\frac{1}{2}$ litre par cheval et par heure.

A la même vitesse le moteur de voiture peut faire plus de quatre chevaux, vu que la course du piston est doublée et que la surface de chaque piston est sensiblement plus grande que dans celui que nous venons de décrire.

L'inflammation électrique se fait d'une façon très économique. Deux piles, une bobine de Rhumkorff et une bougie d'inflammation suffisent. Normalement, le courant ne passe pas dans la bobine, dont le trembleur est écarté à l'aide d'une petite came munie d'une rainure ; c'est seulement au passage de la rainure que le trembleur devient libre et oscille une ou deux fois avant de se trouver de nouveau écarté par la came. Il en résulte que le courant ne passe dans la bobine pour produire l'étincelle destinée à provoquer l'explosion qu'au moment précis ou l'on en a besoin, ce qui évite toute dépense inutile d'énergie électrique.

Les moteurs construits par la maison Gladiator sont bien compris, et nous ne voyons pas qu'ils soient en aucune façon inférieurs au moteur Daimler dont ils partagent d'ailleurs le défaut de ne pas être équilibrés.

M. Darracq nous a fait pressentir qu'il aurait bientôt

un nouveau moteur réalisant un progrès énorme sur ceux qui existent actuellement; nous le souhaitons vivement et nous ne pouvons qu'applaudir aux tentatives hardies de la maison Gladiator; car, il faut bien le reconnaître, le moteur à gaz laisse encore fort à désirer au point de vue de son application aux voitures automobiles. Il est encore trop bruyant et trop délicat à conduire.

VOITURE DURYEA

Dans la récente épreuve du *Times Hérald* qui fut organisée au mois de novembre 1895, c'est une voiture Duryea qui arriva première.

Comme le moteur Kane-Pennington, celui de Duryea est d'invention et de construction américaines. Tous deux semblent destinés à marquer un progrès réel sur ce qui se fait actuellement et intéressent au plus haut degré tous ceux qui suivent le grand mouvement de l'automobilisme.

Après la récente course dont la voiture Duryea est sortie victorieuse, il est permis d'en bien augurer pour l'avenir, et il serait injuste de ne pas reconnaître à ce véhicule de hautes qualités pratiques.

Les données suivantes sont tirées des brevets anglais relatifs à ce moteur et à sa disposition sur une voiture. Notre confrère de Coventry, *The Autocar*, en a déjà publié une utile description.

Le véhicule est à quatre roues (Fig. 71 et 72); celles d'arrière sont motrices. Le bâti supporte le moteur, et

c'est à l'aide d'un engrenage, attaqué par un pignon claveté sur un arbre intermédiaire I, que le mouvement

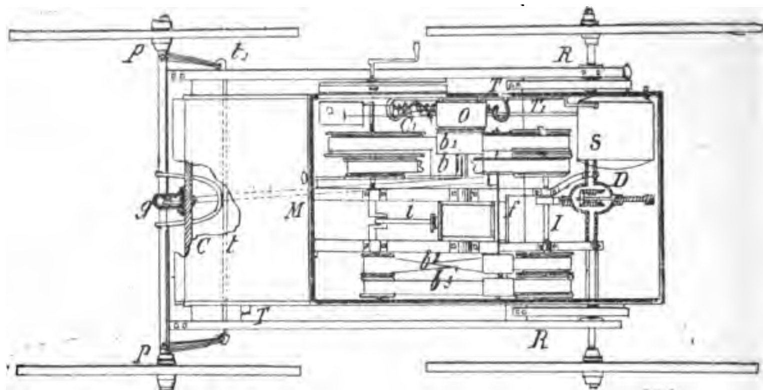


Fig. 71 — Voiture Duryea. Vue en plan.

est transmis au différentiel D qui commande les deux

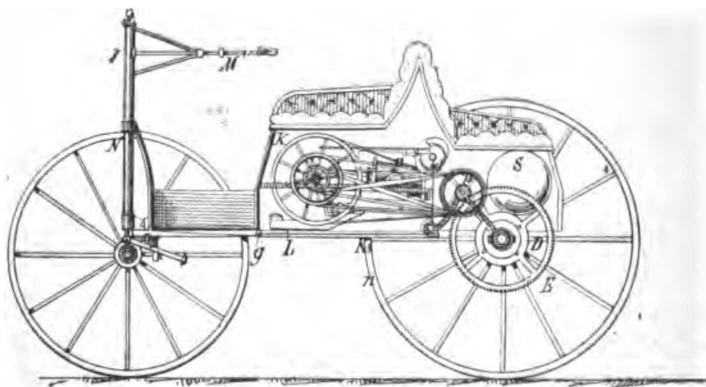


Fig. 72. — Voiture Duryea. Coupe.

roues motrices. L'arbre différentiel est monté sur deux ressorts R venant s'appuyer sur le châssis.

La direction s'effectue par essieux brisés à l'aide du levier M et des tringles t et t_1. Il est à remarquer cependant, que cette direction se distingne des systèmes analogues par le mode de suspension. L'avant-train est supporté par un ressort transversal T, et l'essieu des roues de devant peut osciller autour d'une cheville C.

Il est aisé de voir que ce dispositif a l'avantage de permettre aux roues de devant de suivre les inégalités du terrain sans faire subir aucun effort de torsion au cadre de la voiture. Il faut remarquer également que les roues sont montées sur des pivots p inclinés par rapport à la verticale, de façon à venir couper le plan des roues en leurs points de contact avec le sol. Cette disposition aurait l'avantage non seulement de faciliter la direction, mais encore celui d'empêcher les déviations brusques que pourrait amener un obstacle quelconque venant heurter l'une des roues.

La poignée M est munie d'un taquet qui peut s'engager dans des encoches, dans le but de faire varier la vitesse du véhicule. Voici du reste ce qui se passe : En faisant monter ou descendre le taquet on fait manœuvrer une corde que l'on aperçoit en pointillé sur le dessin. Cette corde suit le tube N et passe de là sur la poulie f après avoir été guidée par les galets g et g'. La manœuvre de M a pour effet de faire mouvoir la corde en question et, par conséquent, la poulie f. Cette dernière commande un arbre portant quatre cames différentes qui, suivant la position de l'arbre, servent à tendre tour à tour une des quatre courroies servant d'intermédiaires entre l'arbre moteur K et l'arbre intermédiaire I. Suivant la manœuvre de M, on peut donc

tendre à son gré une des courroies b, b_1, b_2 ou b_3 qui correspondent à diverses vitesses relatives de la voiture par rapport au moteur, ainsi qu'à la marche en arrière.

Le moteur en lui-même s'écarte absolument des principes suivis jusqu'à ce jour.

L'explosion ne s'effectue pas dans le cylindre même, mais, dans un réservoir spécial O qui joue en quelque sorte le même rôle que la chaudière relativement aux moteurs à vapeur. C'est ce réservoir O qui distribue les gaz sous pression dans le cylindre. La gazoline ou toute autre essence de pétrole se trouve emmagasinée dans un récipient S et arrive par un tuyau T, branché à sa partie inférieure, dans un gros tube C_1 où cette essence est évaporée sous l'action de la chaleur.

Les vapeurs de pétrole passent ensuite dans un brûleur muni d'un ajutage cylindrique débouchant dans un réservoir O. Les gaz, en passant à travers cet ajutage, entraînent la quantité d'air nécessaire à leur combustion qui s'effectue en O. Un second tuyau T_1 part de O et débouche à la partie supérieure du réservoir S de façon à maintenir une pression uniforme dans tout le système S, T, C_1 et T_1.

Sans cette disposition il est évident que la pression des gaz en O s'exerçant en C_1 et S empêcherait la gazoline de descendre et de venir s'évaporer en C_1. On a également disposé sur le tube d'adduction T, une soupape conique qui, suivant sa position, laisse passer plus ou moins d'essence de pétrole. Toutes choses égales, la pression sera toujours proportionnelle à la quantité d'hydrocarbure qui passera par seconde, en sorte que, une fois qu'elle sera réglée sur une voiture,

on n'aura plus à toucher à la soupape. Une seconde soupape *n* permet de fermer complètement le tuyau K lorsque l'on veut arrêter le moteur.

Une lampe L sert à chauffer le vaporisateur C_1 au moment du départ, et à enflammer les gaz à leur entrée en O.

La vitesse des gaz à la sortie de l'injecteur sert, nous l'avons dit, à entraîner la quantité d'air nécessaire à sa combustion. On s'arrange, en général, pour que l'air entraîné ait un volume égal à 10 fois celui de la vapeur de pétrole. Plus il y aura d'air entraîné, plus le mélange résultant de la combustion sera à basse température, en sorte que l'on pourra se dispenser d'employer une circulation d'eau pour refroidir le moteur.

La pression régnant dans la chambre O et dans le système de tuyaux que nous avons considéré est d'environ $8^{kg},5$ par centimètre carré.

La voiture est, en outre, munie d'un levier de mise en marche destiné à lancer le moteur.

Celle qui a pris part à la course de Chicago pesait 320 kg et pouvait faire jusqu'à 32 kilomètres sur bonne route. Le moteur était pourvu de quatre changements de vitesse semblables à ceux que nous avons décrits ; sa puissance était de 4 chevaux effectifs sous un poids total de 54 kg. Le réservoir S avait une contenance de 36 litres de gazoline.

La voiture Duryea qui a effectué le parcours de la course de Chicago n'a consommé, malgré l'état déplorable des routes couvertes d'une épaisse couche de neige, qu'environ 16 litres de gazoline pour couvrir la distance de 90 kilomètres en 9 heures environ.

L'ensemble du dispositif appliqué sur la voiture Duryea constitue, à notre avis, une des grandes nouveautés de l'année dernière. Ce générateur d'air chaud comprimé est un pas décisif dans une direction toute autre que celle que l'on a suivie jusqu'à ce jour dans la construction des moteurs à gaz. C'est une conception absolument nouvelle qui présente des avantages réels.

Le premier de ces avantages, et non le moins important, sera de pouvoir faire usage de moteurs à double effet ou de machines à trois cylindres, calées à 60° et travaillant simultanément. On pourrait de ce chef réduire considérablement les dimensions et le poids d'un moteur destiné à fournir une puissance donnée, et le couple moteur serait beaucoup plus constant que dans les moteurs à pétrole à quatre ou même à deux temps que l'on emploie aujourd'hui.

Ce dispositif a aussi l'avantage de permettre de faire varier la pression dans le générateur O suivant le travail à produire, en ouvrant plus ou moins la soupape d'admission de la gazoline. La dépense d'hydrocarbure est donc toujours proportionnelle au travail fourni.

On nous fait espérer que nous verrons dans la course Paris-Marseille une voiture Duryea, ce qui nous permettrait de juger *de visu* de la valeur de cet automobile nouveau ; car, lorsqu'il s'agit d'une invention, il faut ne rien affirmer définitivement avant d'avoir vu et touché. La très haute température du réservoir d'air chaud nous paraît être le principal inconvénient de cet automobile américain.

LE MOTEUR KANE-PENNINGTON (1)

Les expériences de vol plané faites par Maxim, en Amérique, avaient déjà mis en évidence un moteur à vapeur d'une grande légèreté, 150 kg par 12 chevaux. Nous devons cependant ajouter que la description exacte de ce moteur n'a pas encore traversé l'Océan.

Tout dernièrement, la presse annonçait la découverte d'un moteur à pétrole qui laissait loin derrière lui ces résultats, et on disait que l'inventeur avait pu abaisser à 8 kg par cheval le poids de son moteur. Il s'agissait des moteurs Pennington, construits par MM. Kane, de Chicago, dont les poids d'après le constructeur sont de :

$13^{kg},500$ pour le moteur de 56 kilogrammètres, 18 kg pour le moteur de 2 chevaux, $22^{kg},500$ pour le moteur de 4 chevaux, soit $5^{kg},6$ par cheval, chiffre que nous donnons d'ailleurs sous toutes réserves.

Cependant, il faut reconnaître que la construction extraordinairement simple caractérise bien la manière de faire des Américains. Tout a été sacrifié à la légèreté, aucune pièce n'est inutile ; les organes fixes servent de support, et les pièces mobiles sont utilisées à la fois comme organes moteurs et comme organes de distribution.

L'essence de pétrole arrive à la machine par son propre poids au moyen d'un tuyau, et vient directement du réservoir.

Le cycle est à quatre temps : le piston aspire d'abord

(1) Extrait de la *France automobile.*

de l'air avec une certaine quantité d'essence pendant une fraction de sa course. L'essence se vaporise en carburant l'air; cette vaporisation détermine un refroidissement du cylindre qui rend inutile la circulation d'eau employée habituellement dans les machines similaires.

Nous verrons plus loin qu'une autre raison préside au non échauffement du cylindre.

Le mouvement en arrière du piston comprime le mélange d'air carburé dans le fond du cylindre.

A fond de course et au moment où le piston repart, jaillit une étincelle produite par une batterie primaire qui allume les gaz.

Le piston est poussé en avant, ce qui correspond à la période motrice et, dans un retour en arrière, il chasse les produits de la combustion.

Les soupapes d'admission de l'air et du liquide sont ouvertes sous l'influence de l'aspiration du piston; la soupape d'échappement, au contraire, est commandée mécaniquement, ce qui assure la sortie complète des gaz brûlés.

Pendant la période d'aspiration, le liquide tombe sur un fil métallique placé dans la partie supérieure du cylindre; ce fil, en forme de spirale, mis en dérivation sur la batterie primaire facilite, par une légère élévation de température, la vaporisation complète de l'essence. Ce dispositif supprime donc l'emploi du carburateur et la nécessité d'un réglage si minutieux au double point de vue de la constance du niveau du liquide et de l'écoulement de l'air.

Les machines de 55 kilogrammètres sont à un cy-

lindre; celle de 2 chevaux à 2 cylindres, et celle de 4 chevaux à 4 cylindres (Fig. 73, 74 et 75).

Les cylindres sont fondus en acier et forment bâti. Les fonds en acier sont vissés sur un cadre en fer, puis brasés. Cette précaution est, d'ailleurs, commune à toutes les pièces vissées.

Les pistons portent trois segments. Il suffit de dévisser un seul écrou pour pouvoir démonter complètement tous les organes.

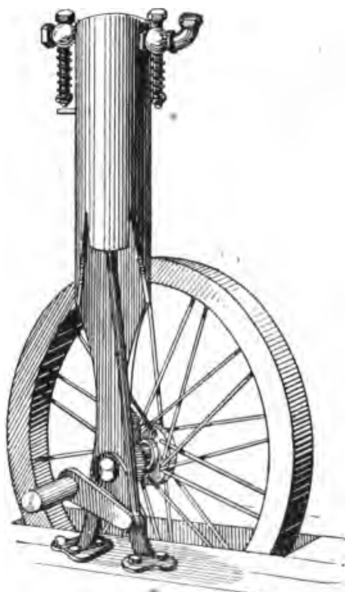


Fig. 73. — Moteur Kane-Pennington 1 cylindre.

Le moteur comporte encore, outre les deux soupapes, un engrenage de réduction et la tige de commande de la soupape d'échappement.

Le volant n'a que $0^m,50$ de diamètre, et tout son poids est utilisé à la périphérie. Les rayons sont établis comme ceux d'une bicyclette. La marche arrière est obtenue par le simple décalage de l'une des roues dentées.

Les diagrammes 1,2,3 et 4 (Fig.76) ont été relevés sur un moteur de 305 millimètres de course et dont le piston avait $62^{mm},5$ de diamètre. Les détails et les dimensions du piston sont donnés sur la Fig. 77.

Une particularité vraiment remarquable de ce moteur est qu'il puisse marcher sans s'échauffer outre mesure, bien qu'aucune précaution ne soit prise pour refroidir le cylindre. M. Randol nous dit qu'il a vu fonctionner le moteur suspendu par de simples cordes pendant des heures et à des vitesses dépassant souvent 1 500 tours à la minute sans un échauffement excessif des cylindres.

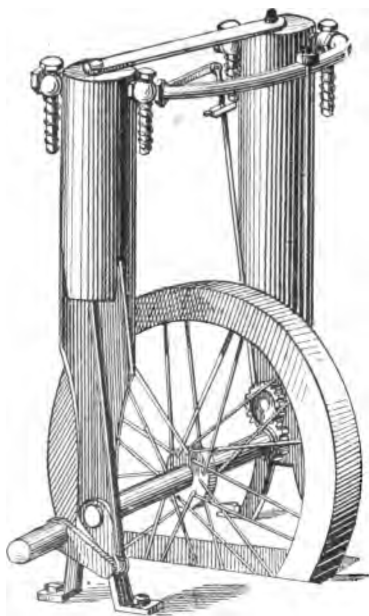


Fig. 74. — Moteur Kane-Pennington, 2 cylindres.

Les diagrammes de la Fig. 76 montrent que le moteur fonctionne exactement comme un moteur ordinaire à quatre temps. Pendant les essais, il tournait à une vitesse moyenne de 325 tours ; il convient de dire cependant que ces essais ont été effectués d'une façon très rudimentaire. Les diagrammes permettent bien de calculer quelle était la puissance indiquée du moteur, mais, le travail utile n'a pas pu être mesuré, le frein n'étant constitué que par une planche de bois que l'on appuyait sur le volant du moteur.

Les diagrammes 1 et 2 n'ont aucune valeur ; car on a

constaté, après les avoir obtenus, une fuite sur le joint du tuyau reliant l'indicateur au cylindre. Seuls les diagrammes 3 et 4 peuvent donner des indications utiles relatives à la marche normale du moteur. Ils dénotent une marche absolument régulière et se rapprochent beaucoup du cycle théorique de rendement maximum

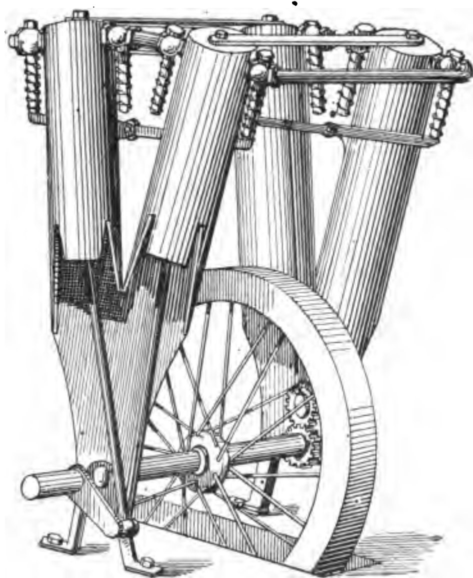


Fig. 75. — Moteur Kane-Pennington, 4 cylindres.

que l'on peut obtenir avec un moteur à quatre temps. La compression à la fin de la course est de 4^{kg},5 par centimètre carré et monte à 12,5 kg après l'explosion du mélange gazeux. Les diagrammes indiquent, en outre, que la déflagration se produit presque exactement à la fin de la course rétrograde et qu'elle est pra-

tiquement instantanée. On sait que c'est là une condition essentielle de bon rendement. Remarquons également que la détente est poussée assez loin pour ramener les gaz contenus dans le cylindre à une pression voisine de celle de l'atmosphère.

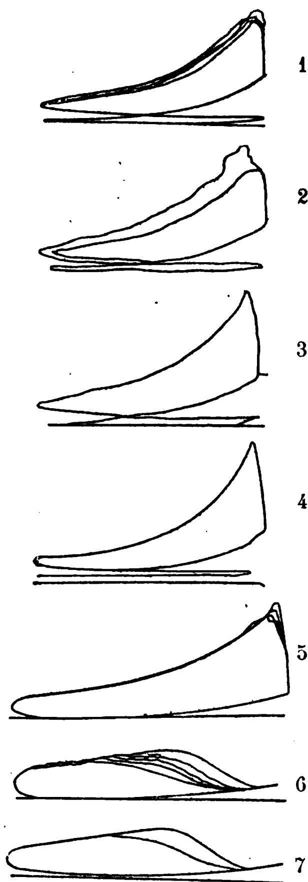


Fig. 76.

La Fig. 78 montre le dispositif servant à l'évaporation et à l'inflammation des gaz, dispositif qui permet d'obtenir l'évaporation de l'essence de pétrole dans l'intérieur même du cylindre et auquel on attribue généralement les diverses propriétés du moteur, dont la plus importante est de ne pas s'échauffer. Le ressort terminé en S sert à conduire un courant électrique dont l'un des pôles est réuni à la masse du moteur et l'autre à l'une des extrémités du ressort, par l'intermédiaire d'un fil isolé qui vient aboutir à l'écrou inférieur de la bougie représentée sur le dessin. D'après M. Randol, le cavalier W fixé

au piston accroche le ressort pendant la course rétrograde du piston correspondant à la compression et provoque ainsi le passage du courant électrique à travers la bougie, le ressort S et la masse du moteur. Mais, à mesure que le piston avance, le ressort S glisse sur W, et comme ce ressort est muni de touches isolées, le courant est interrompu et rétabli un grand nombre de fois pendant la compression ; il en résulte

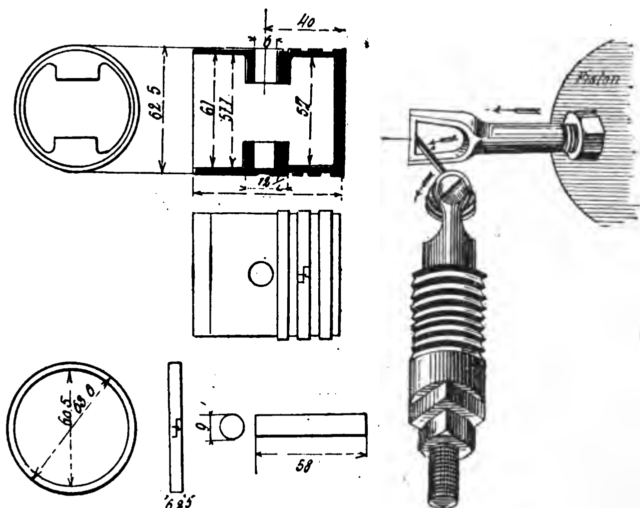


Fig. 77. — Moteur Kane-Pennington. Détails du piston.

Fig. 78. — Carburateur du moteur Kane-Pennington.

des étincelles qui favorisent la vaporisation de l'essence de pétrole sans toutefois en déterminer l'inflammation. A la fin de la course rétrograde, le ressort quitte définitivement le cavalier, et la forte étincelle qui en résulte détermine l'explosion.

A vrai dire, on ne s'explique pas très bien comment

cette série de petites étincelles favorisent la vaporisation de la gazoline et pourquoi elles ne déterminent pas souvent l'explosion avant la fin de la compression; cependant, les diagrammes nous montrent nettement, que, sous ce rapport, le moteur fonctionne à merveille, à la condition toutefois que ces diagrammes aient été relevés sur le moteur en question.

Il est absolument impossible d'attribuer uniquement à ce mode de carburation d'air un refroidissement suffisant pour empêcher le moteur de s'échauffer. Nous examinerons plus loin les causes qui, à notre avis, permettent d'expliquer cette propriété du moteur Pennington.

Nous ferons remarquer auparavant que les diagrammes 5, 6 et 7 ont été relevés sur un moteur Regan muni d'une enveloppe d'eau autour du cylindre. Ces moteurs sont destinés à marcher avec un carburateur et, comme les diagrammes en question ont été obtenus en introduisant directement l'essence de pétrole dans le moteur, il faut se garder d'en déduire la valeur réelle du moteur. Ces essais avaient pour but de déterminer l'influence du dispositif Pennington pour vaporiser le pétrole. Le diagramme 5 a été obtenu sur un moteur Regan muni de l'appareil représenté sur la Fig. 76. Ce diagramme est normal et accuse une explosion presque instantanée. Il n'en est plus de même lorsque l'on supprime l'appareil; les diagrammes 6 et 7 montrent que la température du cylindre n'est pas assez élevée pour déterminer la vaporisation complète, en sorte que l'explosion a lieu pendant la course directe presque tout entière.

La série de petites étincelles que M. Pennington détermine dans son moteur est une des conditions qui favorisent la bonne carburation du mélange avant l'explosion.

Reste à savoir maintenant pourquoi le moteur Pennington ne s'échauffe pas outre mesure. Voici comment on peut expliquer cette particularité. Ce moteur est construit en tubes d'acier très minces, en sorte que la masse métallique qui le compose est beaucoup moins importante que celle de n'importe quel autre moteur existant.

En conséquence, pendant la première explosion la quantité de chaleur emmagasinée dans le métal est très faible et presque toute cette chaleur pourra être absorbée, avant la prochaine explosion, par l'évaporation du pétrole et par le contact de l'air ambiant. Si au contraire, il s'agit d'un moteur en fonte et par conséquent relativement lourd, la quantité de chaleur emmagasinée par le métal sera considérable et ne pourra être que très peu diminuée par le contact de l'air ou même l'évaporation d'un peu de gazoline, et il arrivera un moment où la température du cylindre sera assez voisine de celle qui caractérise l'explosion. Vu la capacité calorifique du moteur, cette température restera sensiblement constante pendant la durée des quatre temps du cycle qu'effectue ce dernier. Il est probable que pendant l'explosion on atteint la même température avec un moteur Pennington; mais, elle ne se maintiendra pas, parce que toute la chaleur emmagasinée par les parois sera dissipée par l'air et la vaporisation du pétrole. La moyenne de la température étant basse, les huiles de graissage

ne s'évaporeront pas et le moteur pourra fonctionner sans eau de refroidissement.

Pour nous résumer, nous disons donc que le moteur Kane-Pennington peut marcher sans refroidisseur à cause de la faible épaisseur des parois du cylindre, à cause de sa faible capacité calorifique.

CHAPITRE VII

AUTOMOBILES A PÉTROLE (*Suite*)

—

MOTEUR LOYAL

M. Loyal a terminé l'étude de son moteur, qui est maintenant en fabrication courante pour les petites industries et les exploitations agricoles. Ce moteur n'a pas encore été adapté aux véhicules ; mais, sa simplicité, son rendement élevé et l'absence de refroidisseur constituent un grand progrès dans la science automobile.

Pas d'allumage et pas d'organes spéciaux pour commander mécaniquement les soupapes, tout en réalisant un cycle à 2 temps : tel est le résultat surprenant auquel M. Loyal est arrivé.

La Fig. 79 montre un schéma du moteur.

Le cylindre C oscille autour de deux tourillons, dont l'un sert à admettre les gaz sur une soupape S. Les soupapes d'échappement se trouvent en S′ et sont au nombre de quatre, disposées sur la périphérie du cylindre.

Du reste, certains modèles n'ont qu'une soupape

équivalant aux quatre autres. A 300 tours, ce moteur peut développer 1 cheval 1/2; c'est celui qui est vendu pour tous les petits emplois de force. Le volant Y sert à régulariser le mouvement, et l'arrivée des gaz est commandée par le robinet R, relié à un carburateur spécial que nous décrirons plus loin.

On a supprimé l'allumage électrique et on l'a remplacé par l'allumage que l'on pourrait appeler « pneumatique ». C'est, en effet, par la seule compression du mélange gazeux dans une éprouvette en nickel que l'on obtient la chaleur nécessaire à la déflagration des gaz en vertu du principe bien connu qui veut que, dans toute compression brusque, il se développe une quantité de chaleur proportionnelle au travail accompli. Au moment du départ, le tube de nickel est chauffé préalablement à l'aide d'une petite lampe à courant d'air; une fois le moteur en train, la compression seule suffit pour déterminer l'explosion.

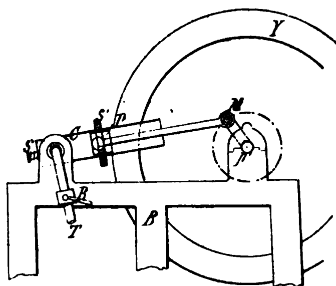


Fig. 79. — Schéma du moteur Loyal.

Nous avons dit que le moteur est à 2 temps, ce qui, au premier abord, semble difficile avec un moteur à un seul cylindre. C'est que, ici encore, on a appliqué un principe ou plutôt une idée nouvelle que l'expérience avait confirmée : « Les gaz brûlés ne se mélangent que très difficilement avec les gaz neufs. »

Certes, ce principe on le connaissait, puisque l'inflammation par tube chauffé au rouge est précisément basée sur ce que les gaz brûlés sont refoulés dans ce tube et ne permettent le contact des gaz neufs avec les parois incandescentes du tube que lorsque la compression a atteint une certaine valeur. Mais, on n'avait pas songé à appliquer cette propriété pour obtenir le moteur à 2 temps avec un seul cylindre.

Ceci posé, voici comment les choses se passent.

Supposons que le moteur soit à la période d'explosion et que le piston soit projeté en avant : Les gaz se détendent pendant la première partie de la course jusqu'à ce que le piston soit arrivé en un point tel que la pression des gaz tombe à une valeur inférieure à celle de l'atmosphère. A partir de ce moment, des gaz frais sont aspirés à travers la soupape S jusqu'à ce que le piston soit arrivé à la fin de sa course. Pendant la course rétrograde, il se produit une compression qui fait soulever les soupapes d'échappement S′ et laisse échapper *une certaine quantité de gaz brûlés*. Les gaz neufs n'étaient pas arrivés aussi loin que S′. Lorsque le piston aura dépassé les soupapes d'émission, la compression continuera à se faire; mais les gaz qui restent dans le cylindre ne peuvent plus s'échapper et, à la fin de la course, la compression sera suffisante pour déterminer l'explosion des gaz neufs qui se trouvent dans la partie supérieure du cylindre. Le cycle que nous venons de décrire recommence et suit les phases que nous venons d'énumérer.

Nous avons dit que tous les gaz brûlés ne sont pas expulsés; c'est peut-être là une des causes qui empê-

chent l'échauffement du moteur, bien qu'aucune précaution ne soit prise pour le refroidissement.

Pour mieux faire comprendre notre manière de voir, désignons par Q la chaleur dégagée à chaque explosion, par v_1 le volume des gaz neufs et par v_2 celui des gaz déjà brûlés. Si ces derniers avaient été expulsés, la température des gaz au moment de l'explosion serait montée à :

$$T_1 = \frac{Q}{cv_1},$$

c étant un coefficient expérimental sensiblement proportionnel à la chaleur spécifique du mélange gazeux.

Dans le cas d'un volume v_2 de gaz neutres, la température deviendra :

$$T_2 = \frac{Q}{c\,(v_1 + v_2)}$$

et, il est aisé de voir que T_2 sera d'autant plus faible que v_2 sera plus grand. Si nous supposons, par exemple, $v_1 = v_2$, nous trouverons que $T_2 = \frac{T_1}{2}$; la température serait donc diminuée de moitié.

Il va de soi que la pression due à l'explosion tombe également dans les mêmes proportions ; mais le travail que peuvent fournir les gaz n'en est pas affecté, puisque, à cause de leur volume considérable, on pourra pousser la détente beaucoup plus loin. En fait on réalise, au contraire, une économie notable, toute la chaleur *disponible* étant utilisée à produire du travail au lieu de servir à réchauffer l'eau de circulation comme dans les moteurs ordinaires. D'après M. Loyal, l'économie se

monte à 30 %, de sorte qu'au lieu de dépenser un demi-litre d'essence par cheval et par heure, on ne dépasse pas un quart de litre. Ces affirmations sont, du reste, d'accord avec la théorie, car dans les moteurs ordinaires, 50 % de la chaleur totale est absorbée par l'eau de circulation.

Pour terminer la description de cet intéressant moteur, nous dirons quelques mots du nouveau carburateur automatique breveté par M. Loyal.

L'appareil est représenté par la Fig. 80. Il se compose essentiellement d'un réservoir R divisé en deux compartiments C et C′. Le compartiment C reçoit la gazoline.

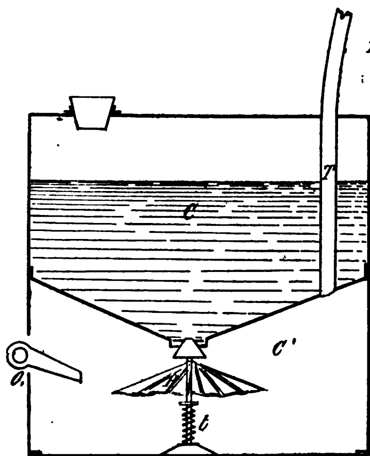


Fig. 80. — Carburateur Loyal.

A travers le compartiment inférieur, passe une tige t munie d'un ressort à sa partie inférieure, destiné à empêcher l'essence de pétrole de tomber dans le compartiment C′ lorsque la tige ne tourne pas. Lorsque, au contraire, le moteur produit l'aspiration, le volant tourne, le pétrole tombe goutte à goutte, et son admission est toujours proportionnelle à la vitesse de rotation du volant. Or, cette rotation est obtenue par l'aspiration même du moteur. L'air aspiré passe par O′ et de là dans

C′, en faisant tourner l'hélice H qui entraîne la tige *t*. Il s'en suit que l'essence tombe, ainsi que nous l'avons expliqué, sur les ailes de l'hélice. L'action de l'air et du mouvement de l'hélice déterminent la vaporisation complète de cette essence qui carbure ainsi l'air avant sa sortie par le tuyau T conduisant le mélange dans la chambre d'explosion du moteur. Plus le moteur marchera vite, et plus il aspirera d'air mélangé en proportion invariable avec les vapeurs de pétrole, puisque l'admission de l'essence est toujours proportionnelle à la vitesse de rotation de *t*, c'est-à-dire à la quantité d'air aspirée.

Ce carburateur est donc bien automatique et assure au mélange d'air et de vapeurs carburées une richesse invariable. De plus, il permet l'emploi de pétroles beaucoup plus lourds et plus ordinaires que ceux employés actuellement dans les moteurs à essence. Pour les moteurs agricoles qu'il fabrique, M. Loyal emploie *toutes* les essences minérales que l'on trouve partout actuellement. Combiné avec un moteur aussi simple que celui que nous avons décrit, l'ensemble nous paraît réaliser un progrès réel, caractérisé par deux avantages indiscutables : l'économie et la simplicité.

Pour les canots de promenade, son emploi sera tout indiqué.

MOTEUR DAWSON

Le moteur Dawson dont la Figure 81 représente une coupe peut également s'appliquer à la traction, bien qu'il ait été construit en vue des installations fixes.

Absence de soupapes, inflammation par tube incandescent : telle est la caractéristique de ce moteur.

Le piston P est constitué pour un fourreau cylindrique fermé au bas et sur lequel viennent s'articuler deux bielles B et C. La bielle C communique un mouvement de rotation au piston P à l'aide d'un engrenage héliçoïdal D attaqué par une roue dentée faisant corps avec la manivelle. Un joint universel assemble la bielle au piston.

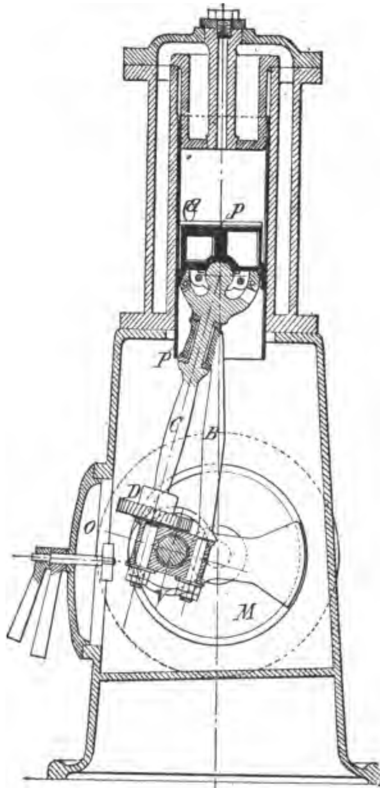


Fig. 81. — Moteur Dawson.

Ce dernier est percé de deux orifices *a* situés sur un même diamètre, et le cylindre lui-même est muni de deux orifices semblables destinés à l'admission et à l'évacuation des gaz. Le mouvement de translation et de rotation du piston est combiné de manière à permettre l'admission des gaz pendant une partie de la course directe du

piston à travers l'orifice *a*. Pendant la course rétrograde, les orifices *a* se trouvent fermés jusqu'à la fin de la compression ; à ce moment l'un des orifices *a* se trouve en regard d'une éprouvette portée à l'incandescence et l'explosion se produit. Lorsque le piston revient de nouveau sur lui-même, *a* se trouve en face de l'orifice d'évacuation des gaz.

Tel est le principe du moteur Dawson qui, du reste, ne nous paraît pas très recommandable. En effet, pour que l'admission ou l'émission puisse se faire pendant la majeure partie d'une course, il faut que les orifices percés dans le cylindre soient relativement longs et aient uue forme héliçoïdale de façon à coïncider avec la position de *a*. Le piston, en somme, jouera le rôle de tiroir circulaire, et il nous paraît assez difficile d'éviter des fuites entre le cylindre et le canal d'échappement à cause de la longueur considérable qu'il doit avoir, vu que tout rappel de l'usure est impossible. La grande surface du piston assure également un frottement considérable qui doit influer sur le rendement du moteur.

Comme dans la plupart des moteurs à pétrole, on a songé au refroidissement et, dans ce but, le cylindre se trouve muni d'une double enveloppe pour la circulation de l'eau.

TRACTEUR A PÉTROLE SYSTÈME LEPAPE

M. Lepape a cru trouver la solution du problème de la locomotion automobile dans l'emploi de tracteurs destinés à remorquer une voiture de forme quelconque.

La locomotion de plaisance n'admet guère ces chevaux de fer et d'acier lourds, bruyants et de forme si peu gracieuse. Nous avons déjà fait ressortir au sujet des tracteurs à vapeur que leur emploi ne pouvait être recommandé que pour les usages purement industriels, tels que les transports de marchandises, les services d'omnibus ruraux ou la traction de lourds camions. Un tracteur à pétrole offrira-t-il des avantages sur la vapeur ? Nous ne le croyons pas, car il aura forcément une marche plus irrégulière, fera beaucoup plus de bruit, et la diminution du poids du tracteur due à la suppression du générateur n'offrira à notre avis aucun avantage et aura l'inconvénient de diminuer l'adhérence et, par conséquent, la charge remorquable.

Le moteur et les dispositions mécaniques de M. Lepape offrent cependant beaucoup d'intérêt et pourraient être appliqués avec succès à un omnibus ou à un tramway automobile.

Le moteur proprement dit se compose de trois cylindres calés à 120°, de façon à uniformiser le couple moteur et à réduire les trépidations dues à l'influence des pièces animées d'un mouvement alternatif. Nous ne pouvons pas, à notre grand regret, donner les détails de construction que M. Lepape n'a pas voulu nous communiquer. Nous dirons cependant que l'admission et l'échappement des gaz se fait au moyen de soupapes comme dans la généralité des moteurs à pétrole ; l'inflammation est obtenue électriquement.

Outre la disposition à trois cylindres qui offre des avantages réels pour la traction, le mode de transmission adopté par M. Lepape mérite d'être signalé. Les

Fig. 82 et 83, permettent de se rendre compte du dispo-

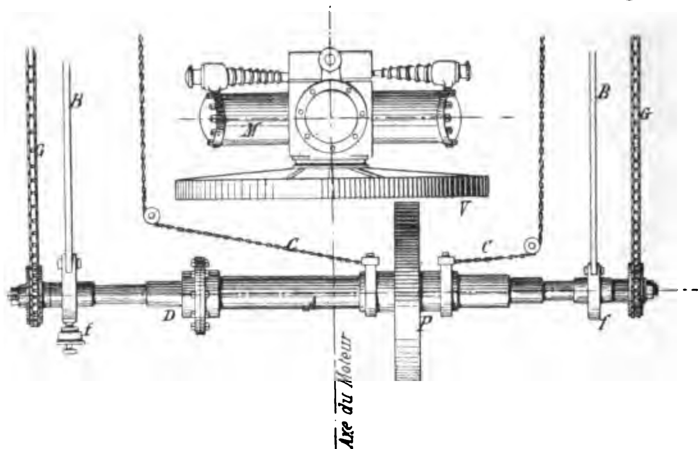


Fig. 82. — Transmission Lepape.

sitif employé. Il consiste à transmettre le mouvement du moteur à un arbre différentiel à l'aide de deux plateaux de friction V et P. Ces plateaux suppriment tout autre mécanisme d'embrayage, de changement de vitesse et de changement de marche.

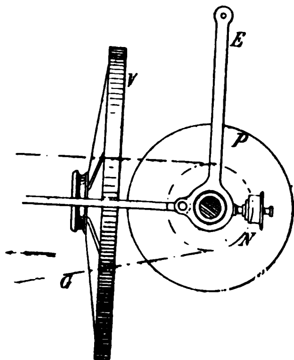


Fig. 83. — Transmission Lepape.

Le plateau V est calé sur l'arbre du moteur et constitue son volant. Il est en fonte et recouvert d'un enduit spécial sur la face opposée du moteur. Le plateau P monté sur l'arbre différentiel peut venir en contact avec V en se déplaçant sur l'arbre ; il est aisé

de se rendre compte que, suivant la distance du point de contact du centre du plateau V, on peut obtenir toutes les vitesses depuis *O* jusqu'à un maximum. Le renversement de la marche est obtenu en faisant glisser P de l'autre côté de V.

L'arbre différentiel commande des pignons qui attaquent les roues motrices à l'aide de deux chaînes Gall G. Le mouvement différentiel permet aux pignons et, par conséquent, aux roues de se mouvoir indépendamment dans les courbes.

Le plateau P peut être approché ou éloigné de V grâce aux douilles formant paliers à rotules. Il est à remarquer que, plus l'effort de traction sera considérable, plus les chaînes seront tendues, et plus grande par conséquent, sera la pression d'un plateau sur l'autre. L'adhérence sera proportionnelle à l'effort à transmettre et le conducteur n'a qu'à approcher les deux plateaux pour les mettre en prise; la pression nécessaire se produira ensuite automatiquement.

La conduite du locomoteur est effectuée à l'aide des roues d'arrière montées à pivot. On actionne celles-ci en agissant sur un levier que le conducteur tient de la main gauche. Un autre levier situé à droite sur à embrayer ou à désembrayer le moteur.

VOITURE TENTING

L'aspect général de la voiture est représenté par la Fig. 84, et les dispositions mécaniques de la voiture sont représentées sur la Fig. 85.

Fig. 84. — Voiture Tenting.

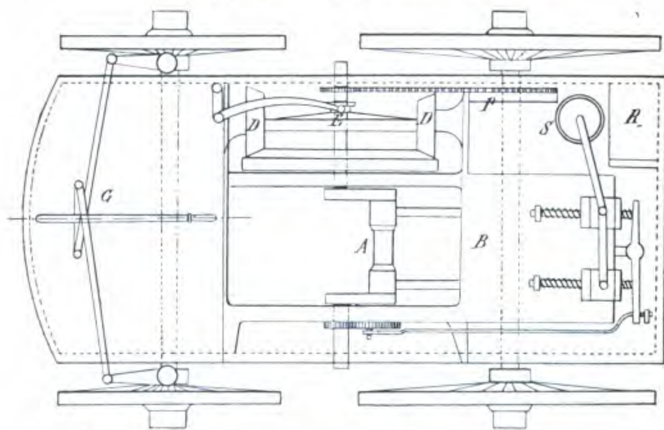


Fig. 85. — Vue du mécanisme de la voiture Tenting.

Le moteur du système Tenting est horizontal, à deux cylindres et à quatre temps. Il tourne à la vitesse réduite de 250 tours, tout en donnant quatre chevaux environ.

L'admission et l'émission des gaz se fait à l'aide de soupapes, et l'ensemble du moteur ne présente aucune particularité sur ceux dont nous avons déjà parlé. Remarquons cependant que les soupapes sont horizontales, ce qui n'est pas recommandable, à moins qu'elles ne soient très bien guidées sur de très longues portées. Le moteur, tournant lentement, est assez volumineux et la mise en train ne doit pas toujours être très aisée. La direction se fait à l'aide d'un levier G représenté sur la figure; celui-ci actionne à l'aide de deux tringles les roues de devant qui sont montées à pivot.

Ainsi que le représente la vue d'ensemble, la direction peut aussi se faire à l'aide d'une chaîne venant remplacer le levier G.

M. Tenting est revenu à l'inflammation par tube incandescent après avoir essayé l'allumage électrique; mais, nous sommes tenté de croire que l'appareil électrique a dû être mal installé pour ne pas donner des résultats au moins équivalents à l'allumage par incandescence. Une circulation d'eau autour des cylindres sert à les maintenir à une température convenable.

Ce qu'il convient surtout de signaler dans la voiture Tenting, c'est l'appareil permettant de faire varier la vitesse et d'obtenir le renversement de marche. La dis po sition représentée en D et E ressemble un peu à celle que nous avons décrite relativement au tracteur Lepape. C'est toujours par friction que l'on obtient la transmis-

sion du mouvement du moteur au pignon qui commande les roues à l'aide d'une chaîne de Gall. Cependant, contrairement à ce qui a lieu dans le système Lepape, les plateaux E et D sont constamment en contact et maintenus sous pression constante. Lorsque le moteur est mis en marche, le plateau E que l'on peut faire coulisser sur son arbre, se trouve au centre des plateaux D ; une fois lancé, on peut obtenir la marche d'un côté ou de l'autre en déplaçant E à droite ou à gauche de sa position moyenne. Plus le plateau E sera éloigné du centre de D, plus la vitesse du véhicule sera considérable relativement à celle du moteur.

Théoriquement, le mode d'entraînement employé par M. Tenting n'est pas mauvais ; mais la pratique seule pourra nous fixer définitivement sur ce point. Comme dans le système Lepape, on n'a pas essayé de supprimer la chaîne, et pourtant, c'est là une des améliorations à réaliser. A première vue, rien ne semble s'opposer à ce que l'abre de E vienne attaquer directement les roues motrices par l'intermédiaire d'un engrenage différentiel ; il suffirait de donner à E un diamètre convenable relativement aux poulies D pour avoir la démultiplication voulue. M. Grélet va essayer, nous a-t-il dit, d'appliquer cette transmission ; l'expérience en vaut la peine, et s'il réussit, il aura certainement réalisé une amélioration et une simplification importante dans le mécanisme d'une automobile.

VOITURE DE M. E. DELAHAYE

Parmi les voitures qui ont figuré à l'exposition du Champ-de-Mars sans prendre part à la course de Paris-Bordeaux, il faut citer la voiture Delahaye qui fut achevée trop tard.

Ainsi qu'on peut s'en rendre compte par la Fig. 86,

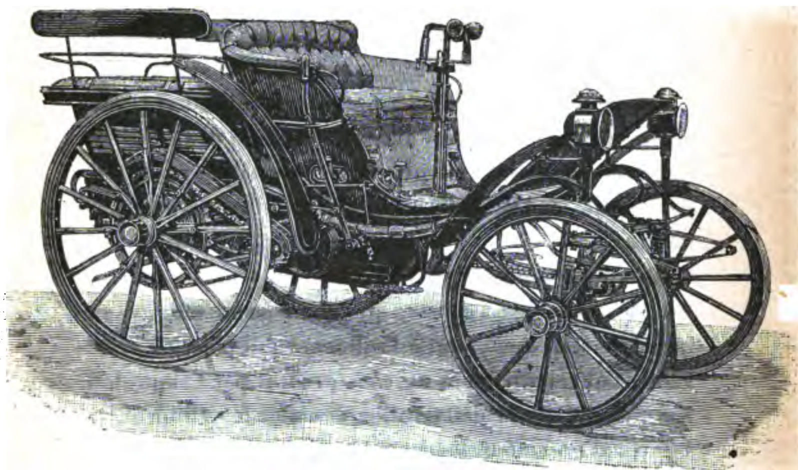


Fig. 86. — Voiture Delahaye.

la voiture en question ne manque pas d'élégance ; elle se distingue surtout par son empatement considérable, c'est-à-dire la grande distance qui sépare les essieux. La forme élancée de l'avant-train est destinée à habituer l'œil à l'absence des chevaux.

Le châssis de la voiture est construit en tubes d'acier, ce qui lui assure à résistance égale plus de légèreté que si on avait eu recours à la carrosserie ordinaire. La

caisse de la voiture vient s'adapter sur ce châssis et peut indifféremment avoir la forme d'un break à six places ou d'un phaëton à quatre places.

Comme dans la grande majorité des voitures que nous avons décrites, la direction se fait par essieu brisé. Il est à remarquer que cette direction doit être assez douce, vu le faible poids supporté par l'essieu d'avant.

Le moteur de la voiture Delahaye en constitue certainement la partie la plus intéressante. Il est à deux cylindres équilibrés, c'est-à-dire que chaque piston attaque une manivelle calée à 180° par rapport à la voisine.

Cette condition empêchera-t-elle toute vibration ? Nous avons déjà fait ressortir l'avantage de cette disposition et il est certain que, si les pièces de chaque piston sont de poids égal, les trépidations en pleine marche seront très faibles.

En vitesse modérée, il n'en sera plus ainsi, car, une grande partie des secousses que l'on ressent sur une automobile sont dues, non à l'influence des pièces à mouvement alternatif, mais au *choc* produit par l'explosion. Au moment de la déflagration des gaz, le cylindre tend à partir d'un côté et le piston, la manivelle et l'arbre du côté opposé. Le bâti qui soutient le moteur sera soumis de ce chef à une tension brusque qui cessera presque immédiatement.

Ces efforts de peu de durée, qui ont lieu tous les tours ou tous les deux tours, constituent de véritables chocs et c'est à eux que sont dues les trépidations parfois gênantes des voitures à pétrole. Plus le moteur tournera vite, moins ces efforts se feront sentir et pourront même devenir presque nuls si le moteur est muni d'un

volant assez puissant pour emmagasiner l'énergie de chaque explosion.

Le schéma Fig.87 permet de se rendre compte des dispositions mécaniques de la voiture. La transmission se fait à l'aide de courroies qui permettent d'obtenir deux vitesses différentes. Ces courroies attaquent un arbre différentiel B qui, à l'aide de pignons C et de deux chaînes de Gall, transmettent le mouvement aux roues motrices

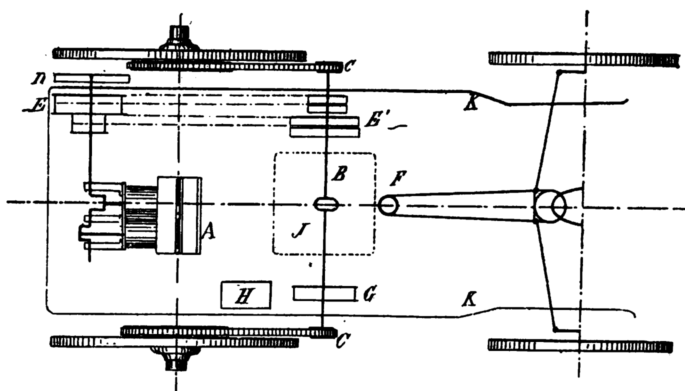


Fig. 87. — Mécanisme de la voiture Delahaye.

caoutchoutées. Le frein est monté sur la poulie G clavetée sur l'arbre B. Un volant D sert à la mise en marche du moteur.

La vitesse normale de ce dernier est de 450 tours par minute et sa puissance de 5 chevaux utiles. M. Delahaye a donné la préférence à l'allumage électrique, qui lui permet de faire varier à son gré le point de déflagration du mélange gazeux.

Une petite pompe centrifuge assure une bonne circulation d'eau autour des cylindres et dans une série de

tubes disposés à l'avant du véhicule qui servent à refroidir cette eau après son passage dans la double enveloppe du moteur.

Nous terminerons cette courte description en disant que les voitures Delahaye jouissent d'une bonne réputation ; le moteur employé, qui est de conception et de fabrication françaises, semble devoir rivaliser avec succès avec le moteur Daimler, le vainqueur de la course Paris-Bordeaux.

VOITURE DE M. ROSSEL

Nous regrettons de ne pouvoir donner une description complète de la voiture de M. Rossel, dont la construction soignée et les dispositions inédites en font une automobile de tout premier ordre.

Nous dirons cependant que les différents leviers de manœuvre sont groupés autour du guidon, ce qui assure une direction facile.

Elle évolue dans des courbes de faible rayon, marche en arrière et s'arrête rapidement, grâce à deux freins puissants, dont l'un suffit à l'enrayage. Elle atteint des vitesses variant de 5 à 20 kilomètres à l'heure, et gravit des rampes de 10 %.

La carcasse de la voiture, formée de tubes d'acier, est portée, par l'intermédiaire de ressorts de suspension très doux, sur quatre roues métalliques à rayons tangents, directs et garnis de bandages en caoutchouc.

Sur cette carcasse sont fixés le moteur à essence de pétrole du système Daimler, le mécanisme de propulsion et la carrosserie.

La voiture peut emporter une provision de 30 litres d'essence qui suffit à un parcours de 200 à 250 kilomètres environ, et une provision de 50 litres d'eau pour le refroidissement des cylindres du moteur.

Il suffit de remplacer quelques litres d'eau tous les 50 kilomètres.

Les roues et les parties principales du mécanisme sont montées sur billes, disposition qui supprime l'ennui du graissage en cours de route.

MOTEUR PYGMÉE

Le moteur Pygmée, de conception et de construction toute françaises, est un de ceux qui, croyons-nous, rivalisera avec le plus de succès contre le fameux moteur Daimler.

Ainsi que son nom l'indique, il est peu encombrant, mais, son faible volume est dû exclusivement au groupement de ses organes, et non à une diminution ridicule de ces derniers. D'un autre côté, étant robuste et facile à conduire, le Pygmée sera certainement fort apprécié du monde automobile.

La Fig. 88 nous représente un moteur vertical de quatre chevaux ; ceux que l'on applique aux voitures sont horizontaux, mais de construction absolument semblable.

Les moteurs Pygmée sont tous équilibrés, c'est-à-dire qu'ils comportent deux cylindres dont les pistons sont munis de bielles attaquant deux manivelles calées à 180°.

Nous avons déjà insisté sur les avantages de cette disposition qui permet d'éviter les trépidations dues aux masses animées d'un mouvement alternatif.

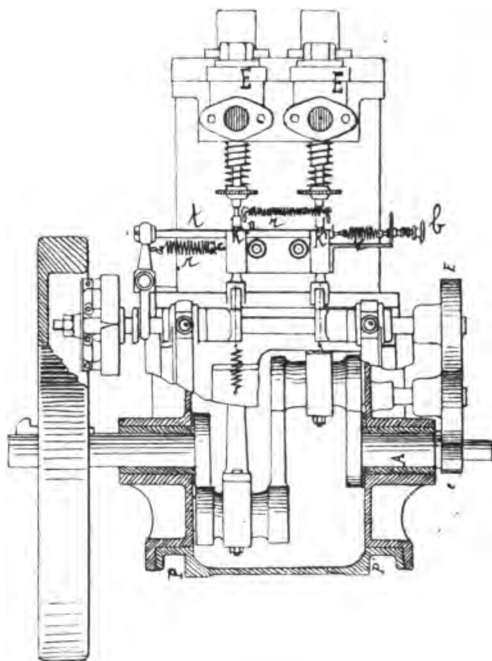


Fig. 88. — Moteur Pygmée.

Comme d'habitude, les soupapes d'admission se soulèvent par l'aspiration même du moteur, et les soupapes d'échappement enfermées dans la boîte E sont commandées par des cames clavetées sur un arbre intermédiaire I, tournant moitié moins vite que l'arbre principal. La lecture de la figure permet de se rendre compte du fonctionnement du moteur.

Le réglage de la vitesse se fait d'une façon toute spéciale et permet d'obtenir une vitesse de marche quelconque.

Une tige *t* est reliée à un régulateur à force centrifuge situé dans le volant qui tend, lorsque le moteur tourne, à déplacer la tige *t* de droite à gauche. Cette action est contrebalancée par un ressort *r*, dont on peut faire varier la tension à l'aide d'un bouton *b*. Si le moteur tourne trop vite, la tension du ressort sera vaincue et la tige se déplacera à gauche en venant d'abord déplacer la butée K qui actionnait la soupape d'échappement du cylindre de gauche.

L'échappement ne pouvant se produire, le piston n'aspirera pas de gaz frais à la course suivante et l'explosion n'aura plus lieu jusqu'à ce que le moteur soit ramené à sa vitesse de régime déterminée par la tension du ressort *r*.

Si le moteur fonctionnant avec un cylindre tournait encore trop vite, la tige *t* se déplacerait davantage vers la gauche et viendrait déplacer K', en empêchant ainsi le second cylindre de produire du travail.

Le moteur peut fonctionner indifféremment au pétrole ou à l'essence, grâce à son carburateur tout spécial. Ce dernier comporte simplement un tube en spirale qui vient entourer les brûleurs destinés à l'allumage. Lors de l'aspiration du moteur, le pétrole ou l'essence passent dans ce serpentin, grâce à l'appel produit par un filet d'air, et se vaporisent avant d'entrer dans le cylindre. Le mélange ainsi constitué est trop riche pour être inflammable. Lorsque l'on veut se servir du pétrole, le serpentin se trouve à l'intérieur du brûleur, tandis

qu'il se trouve à l'extérieur lorsque c'est l'essence que l'on veut employer.

Les arrivées d'air et de vapeurs carburées sont disposées de façon à créer un tourbillonnement des gaz à leur entrée dans le cylindre, de façon à obtenir un mélange homogène et à éviter ainsi les ratés dus à ce qu'un mélange trop riche ou trop pauvre arrive en contact, pendant la compression, avec les tubes incandescents destinés à l'allumage.

Pour terminer ce que nous avons à dire sur cet intéressant moteur, nous ajouterons que, grâce à une forte compression de 4 kilos, la consommation d'essence ou de pétrole ne s'élève qu'à 440 grammes environ par cheval et par heure. Le moteur fonctionnant au gaz en brûlerait environ 700 litres par cheval-heure.

LE GNOME

MOTEUR A GAZ ET A PÉTROLE

Parmi les nouveaux moteurs, celui de MM. Seck, que construit M. Louis Séguin, a attiré tout particulièrement notre attention.

Le Gnome (tel est le nom que son inventeur lui a donné), est d'un aspect robuste ; la simplicité extrême de ses organes en fait un appareil éminemment industriel, qui peut être confié à des personnes peu expérimentées. Sa marche est des plus régulière, ce qui permet d'appliquer ce moteur à l'éclairage électrique, bien qu'il ne soit qu'à un cylindre et tourne à des vitesses toujours inférieures à quatre cents tours par minute.

Au point de vue industriel, le gnome obtiendra certainement un succès considérable, mais, si nous le décrivons ici, c'est qu'il est étudié également en vue de son application aux locomobiles et aux locomotives.

La Fig. 89 nous montre le Gnome placé sur une lo-

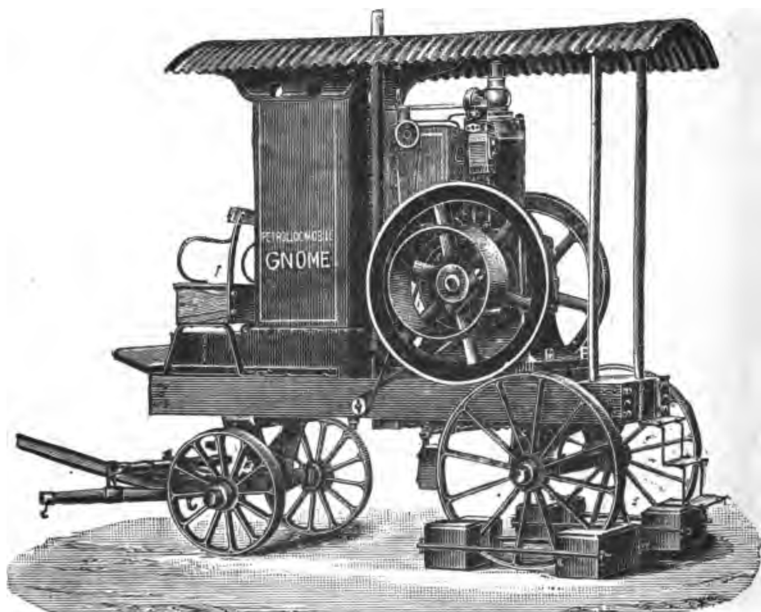


Fig. 89. — Locomobile le « Gnome ».

comobile destinée aux usages agricoles où il trouvera certainement un vaste débouché et supplantera bientôt les locomobiles à vapeur si difficiles à manier.

La locomotive à pétrole destinée aux entrepreneurs et aux agriculteurs est représentée sur la Fig. 90. Toutes

les fois que l'on aura à faire un service relativement peu important et de courte durée, la locomotive à pétrole nous semble toute indiquée; elle est légère et ne nécessite pas des voies lourdes et bien établies. Au besoin, le moteur peut très bien servir à effectuer tout autre travail qui pourrait se présenter.

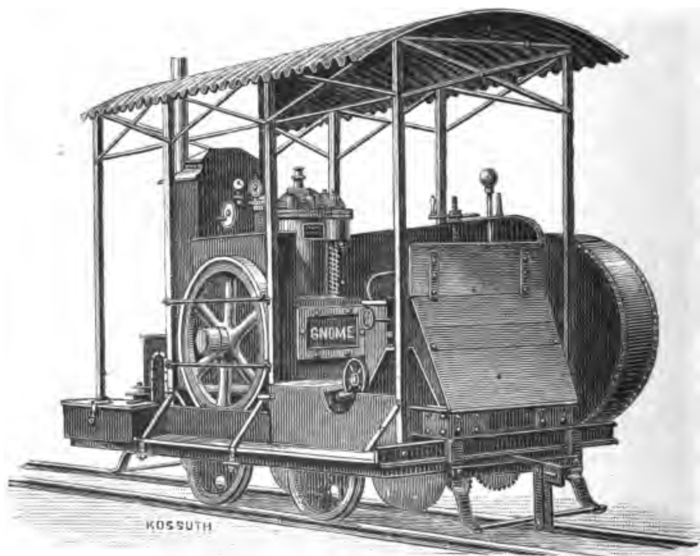


Fig. 90. — Locomotive le « Gnome ».

La Fig. 91 est une vue d'ensemble de Gnome et les Fig. 92 et 93, deux coupes qui permettent de juger de la construction du moteur.

Le bâti A, rempli d'huile à sa partie inférieure, vient s'assembler avec le cylindre C et les supports d'arbre.

Ceux-ci sont graissés par deux bagues entraînées par l'arbre et dont la partie inférieure baigne dans l'huile.

Le graissage du cylindre et des organes moteurs est assuré par les projections d'huile déterminées par le barbottage de la tête de bielle dans l'huile contenue dans le bâti.

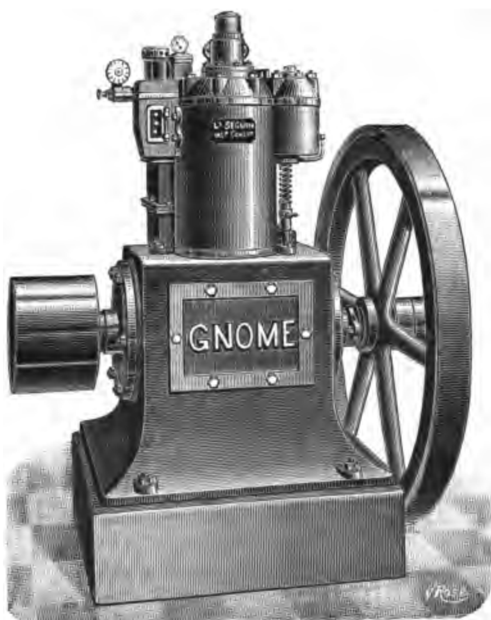


Fig. 91. — Moteur « Gnome ».

Comme dans la généralité des moteurs à pétrole, le refroidissement est assuré par une circulation d'eau autour du cylindre.

La soupape E, destinée à l'échappement, est commandée mécaniquement par un tiroir horizontal, animé d'un mouvement de va et vient obtenu à l'aide d'un excentrique X qui attaque le tiroir horizontal à l'aide d'un engrenage faisant une vis sans fin. C'est la pre-

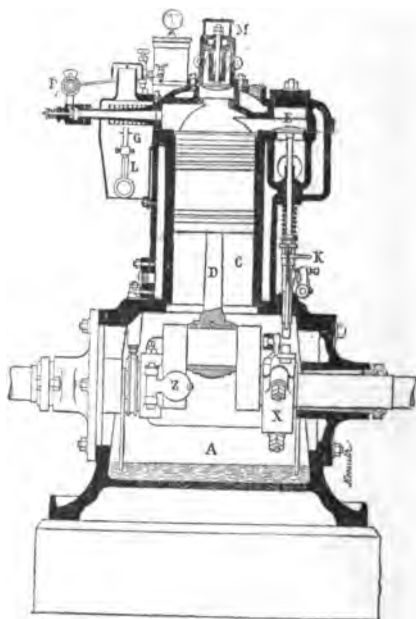


Fig. 92. — Moteur « Gnome ». Coupe.

mière fois que nous voyons appliquer ce dispositif qui nous paraît beaucoup plus simple que la démultiplication de mouvement que l'on obtient d'ordinaire au moyen de deux roues d'engrenage, dont l'un commande l'arbre secondaire devant tourner moitié moins vite que l'arbre principal.

L'admission du mélange gazeux se fait et par la soupape M et par l'ajutage P pendant la course directe correspondant à l'aspiration.

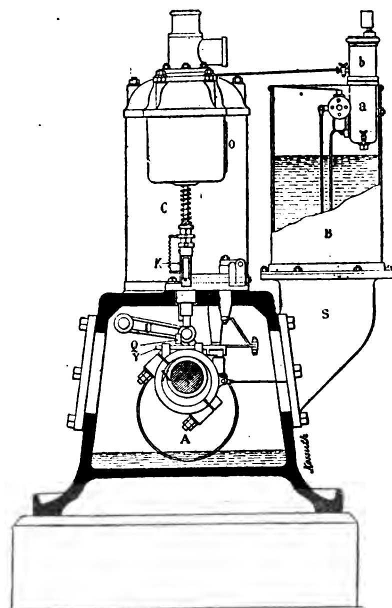


Fig. 93. — Moteur « Gnome ». Coupe.

Le pétrole avant d'arriver dans le moteur, passe dans un gazéificateur chauffé par un brûleur G; lorsque le moteur est à la période d'aspiration, un petit orifice P laisse passer un peu d'air qui entraîne avec lui le pétrole; celui-ci se vaporise dans le gazéificateur et constitue, avec l'air entraîné, un mélange trop riche pour être inflammable.

Les vapeurs de pétrole passent ensuite dans le moteur

où elles rencontrent à angle droit l'air nécessaire à leur combustion,ce qui amène un bon brassage des gaz et un mélange bien homogène.

C'est en agissant sur l'arrivée des vapeurs de pétrole que l'on modifie la richesse du mélange explosif.

Du réservoir principal B, le pétrole est amené en *a* par une petite pompe actionnée par l'excentrique X à l'aide d'un renvoi de mouvement. Un trop plein permet de maintenir un niveau constant dans *b*, ce qui est essentiel pour la bonne marche du moteur.

Il convient également de signaler le mode de réglage adopté, qui diffère quelque peu de ceux que nous avons eu l'occasion de décrire.

Dans la plupart des moteurs, on empêche le soulèvement de la soupape d'échappement lorsque la vitesse normale est dépassée. Il en résulte une compression et une détente des gaz brûlés sans qu'il puisse y avoir aspiration d'un mélange neuf suivie de la déflagration des gaz à la fin de la compression. On obtient le même résultat en empêchant la soupape d'émission E de retomber sur son siège lorsque le moteur tourne trop vite. Dans ce but, un régulateur à force centrifuge Z agit sur un taquet K, de façon à le ramener à gauche et à empêcher la soupape E de retomber. Il en résulte que pendant la course suivante le moteur aspire les gaz d'échappement à travers la soupape E, les refoule et continue ainsi jusqu'à ce que le moteur soit revenu à sa vitesse normale pour laquelle le taquet K n'empêchera plus la soupape de retomber.

En pratique, ce mode de réglage a donné de si bons résultats qu'il a permis d'appliquer ce moteur à l'éclai-

rage électrique et nous savons que des variations de vitesse de plus de 2 °/₀ auraient rendu cette application absolument impraticable.

Pour terminer, nous dirons que le Gnome mérite bien sa réputation naissante et offre les meilleures garanties au point de vue d'un fonctionnement régulier et économique. Son application semble tout indiquée pour les petites locomotives où un certain poids est nécessaire pour assurer l'adhérence ; mais il ne faut pas y songer pour les automobiles de plaisance, à moins que M. Seguin ne crée un type beaucoup plus léger en vue de cette application.

Nous apprenons, au moment de mettre sous presse, que M. Seguin fait construire un type spécial de moteur conjugué, destiné aux embarcations de plaisance.

Peut-être aurons-nous bientôt à enregistrer un nouveau rival au moteur Daimler.

CHAPITRE VIII

VOITURES ÉLECTRIQUES

—

VOITURE JEANTAUD

Nous devons à M. Jeantaud une voiture électrique bien comprise et dont il essaya de démontrer les qualités pratiques dans la course de Paris-Bordeaux. La voiture effectua la moitié du parcours soit 600 kilomètres, mais au prix de quels sacrifices ! On avait établi des relais sur la route tous les 25 kilomètres à peu près et, malgré cela, la voiture n'arriva que très difficilement à destination bien longtemps après toutes les voitures à pétrole.

Nous ne prétendons pas dire pour cela que la traction électrique soit une utopie; mais, on ne doit y avoir recours que dans certaines circonstances que nous avons analysées dans le courant du Chapitre III.

L'épreuve de Paris-Bordeaux ne prouve sous ce rappport qu'une seule chose, à savoir que M. Jeantaud est capable de construire une voiture électrique.

La voiture se compose de deux sièges parallèles à deux places et d'un siège derrière également à deux places en dos à dos (Fig. 94). Les roues sont en bois de hickory; celles d'avant ont un diamètre de 1 mètre

tandis que les roues de l'arrière-train ont $1^m,40$; les charges qu'ellles supportent sont réparties proportionnellement aux rayons.

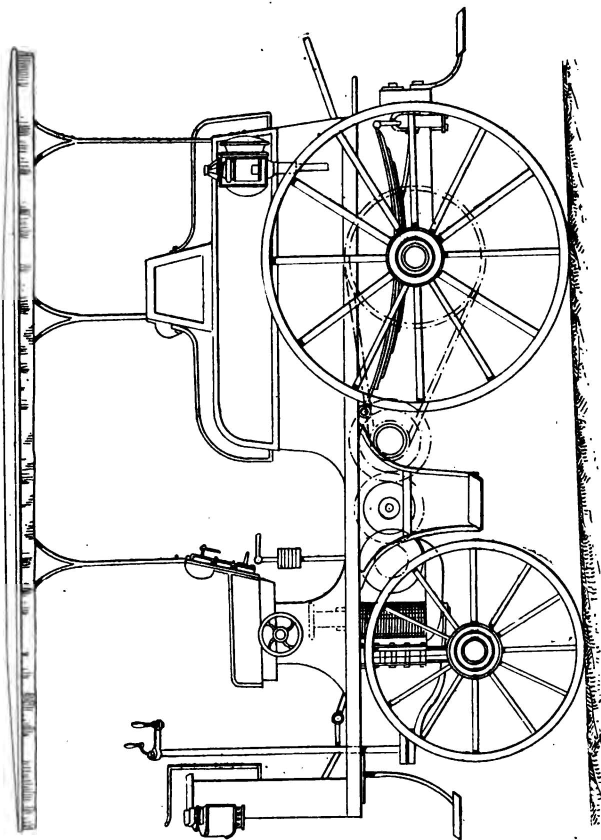


Fig. 94. — Voiture Jeantaud.

L'avant-train, à deux pivots, donne une direction très douce et très sûre ; les pièces qui le composent, par

suite d'une disposition nouvelle, travaillent toutes à la traction.

La suspension, à l'avant, est assurée par deux ressorts droits réunis en leur milieu et placés transversalement sous la caisse qu'ils supportent d'une part, et reposent d'autre part sur l'entretoise auprès des pivots (Fig. 95).

Cette disposition procure une très grande élasticité de suspension en même temps qu'elle adoucit la traction. En effet, quand une des roues rencontre un obstacle, elle n'est pas obligée de soulever toute la partie du véhicule qu'elle supporte, le châssis oscille autour du

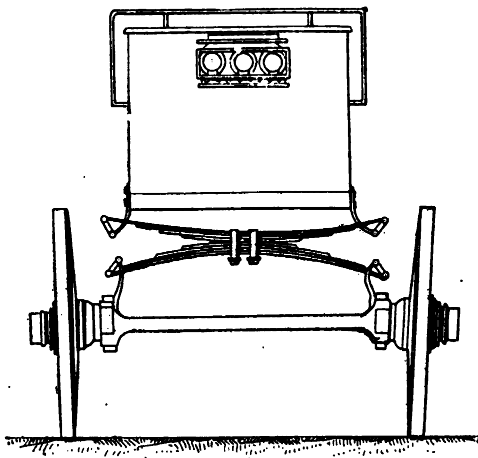


Fig. 95. — Suspension de la voiture Jeantaud

point central de l'attache des ressorts, la charge se reporte sur l'autre roue et l'obstacle est ainsi franchi sans à-coup.

Le châssis ou bâti de la caisse est tout entier en acier

plat soudé, se présentant de champ sous la charge qu'il a à supporter.

Les essieux ont des fusées de 45 millimètres devant et 55 millimètres derrière. A la suite d'un accident au départ de Paris le jour de la course, l'essieu de derrière, forcé dans sa partie droite, s'est échauffé pendant tout le temps du parcours, au point de nécessiter des arrêts toutes les heures, pour le refroidissement et le graissage. A l'arrivée, au démontage, on constata que la fusée et la boîte de cet essieu étaient fortement grippées. C'est à cet accident que l'on attribue le retard de la voiture électrique dans le parcours de Paris-Bordeaux.

Les organes d'arrêt se composent d'un frein instantané obtenu par un enroulement sur les moyeux et actionné par une pédale coupe-circuit placée sous le pied du conducteur; d'un frein progressif manœuvré à l'aide de deux volants placés de chaque côté du siège de conduite. Enfin, une servante, pour le cas de rupture des chaînes dans les rampes, complète les appareils d'arrêt.

La partie mécanique se compose d'abord d'un arbre portant le différentiel et actionnant les roues au moyen de deux chaînes. Sur le différentiel sont placées deux couronnes portant des dentures chevronnées permettant d'obtenir des vitesses de 12 et 24 kilomètres au régime normal du moteur.

Le moteur a été conçu et exécuté par M. Rechniewski, ingénieur de la S^té Postel-Vinay. Son rendement peut dépasser 90 %, paraît-il, ainsi que le montre le tableau suivant.

Puissance développée		Rendement industriel
Couples	Chevaux	
1	2,4	0,68
2	4,6	0,89
3	6,5	0,92
4	8	0,91
5	6,3	0,90
6	10,4	0,99

Le moteur a été construit pour donner en régime normal, sous une tension de 70 volts et un débit de 70 ampères, une puissance de près de 6 chevaux, puissance qui est nécessaire pour atteindre une vitesse de 24 kilomètres à l'heure. Malgré son poids relativement faible de 250 kg, il peut donner de vigoureux coups de collier et fournir au besoin une puissance double de celle pour laquelle il a été calculé.

La batterie d'accumulateurs qui fournit l'énergie au moteur se compose de 38 éléments du type C 21 de la Société *Fulmen*, répartis en douze boîtes de trois et quatre compartiments. Chaque élément, du poids de 15 kg, présente au régime ordinaire de décharge en 10 heures, une capacité de plus de 300 ampères-heures.

Au débit de 70 ampères correspondant à un régime de près de 5 ampères par kilogramme de plaques, la capacité de la batterie est encore de 210 ampères-heures au minimum et permet, par suite, de marcher 3 heures à la vitesse de 24 kilomètres en palier et sur bonne route.

Le débit de 70 ampères a d'ailleurs été fréquemment

dépassé et souvent doublé. Les accumulateurs ont même eu à subir des coups de collier de 200 ampères d'une durée appréciable sans que l'abaissement du voltage qui en résultait forcément, conservât un caratère de permanence quelconque.

Chaque batterie du poids de 850 kg permettait d'accomplir environ 40 kilomètres sur bonne route. Le chargement des boîtes aux stations disposées sur la route de Paris-Bordeaux prenait environ 10 minutes, les connections s'établissant automatiquement à l'aide de ressorts contre lesquels les boîtes garnies de plaques métalliques venaient butter.

Pour terminer remarquons que, avec 850 kg d'accumulateurs, 260 kg de moteur et environ 100 kg d'appareils accessoires tels que les régulateurs, les changements de marche, etc., on arrive à un poids mort sans compter la caisse de la voiture de près de 1 200 kg pour transporter 420 kg de voyageurs sur un parcours de 40 à 50 kilomètres. Ces chiffres sont assez éloquents et se passent de commentaires ; ils prouvent une fois de plus que, même avec des accumulateurs et des moteurs dits légers, ils est impossible d'obtenir une voiture électrique économique lorsque la distance à parcourir d'une traite dépasse 30 kilomètres, puisque le poids mort à emporter dépasse de beaucoup celui des voyageurs et de la voiture.

L'AUTOMOBILE ÉLECTRIQUE DE MM. MORRIS ET SALOM, DE PHILADELPHIE

La médaille d'or de la course du *Times Herald*, de Chicago, a été décernée à une voiture électrique, l'*Elec-*

trobat de MM. G. Salom et H. Morris, qui pourtant n'effectua pas en entier le parcours.

Ce fait prouve une fois de plus que les premiers arrivés ne sont pas toujours les élus, témoins chez nous MM. de Dion et Bouton, en 1894; M. Levassor, en 1895. Ils touchent les premiers au but, mais les conditions du concours ou de la course les rejettent au second rang.

Le jury de Chicago, très électricien sans doute, n'attacha pas grande importance à la défaillance de l'*Electrobat* n° 2, et lui décerna le prix d'honneur pour sa grande maniabilité, l'absence de bruit, de trépidations, d'odeur et de chaleur, pour sa propreté; enfin, pour sa construction irréprochable.

A ces divers titres, il nous semble utile de donner la description de cette voiture; nous empruntons les détails de cette description à une lettre de M. Salom lui-même, son constructeur.

« C'est en juin 1894, dit-il, que j'ai entrepris avec M. Morris l'étude de la traction électrique pour voitures automobiles. En construisant notre premier véhicule, nous avions pour but de le rendre propre à circuler dans toutes les rues de Chicago, quelque impropres qu'elles puissent être à la locomotion automobile. Si nous n'avions pas atteint ce désideratum, on nous aurait certainement reproché de construire des véhicules utilisables sur routes idéales, mais impossibles pour les besoins industriels et un travail de tous les jours.

« Dans cet ordre d'idées, nous avons été amenés à sacrifier certaines conditions que les fabricants de voitures automobiles considèrent comme essentielles, telles que

le poids, l'arrangement général, la répartition et les dimensions du moteur.

« En août 1894, notre premier véhicule fut prêt et, depuis cette époque, il a fonctionné tous les jours, les mois d'hiver exceptés, effectuant ainsi plusieurs centaines de milles sans accident sérieux. Jamais encore nous n'avons été obligés de recourir à l'aide des chevaux pour ramener la voiture à son garage.

« Le poids total du véhicule sans voyageurs est de 4 250 livres (1 935 kg). Le poids des accumulateurs est de 1 600 livres (730 kg). La distance que l'on peut parcourir sans recharger les accumulateurs varie de 81 à 161 kilomètres, suivant l'état et le profil des routes; la vitesse peut atteindre 24 kilomètres à l'heure. Nous emportons 60 accumulateurs de 100 ampères-heures chacun, ce qui nous permet de compter sur un travail électrique de 13 chevaux-heures à la décharge. Le moteur développe normalement 3 chevaux (il a été construit par la General Electric C°) et, en cas de besoin, il peut fournir une puissance de 9 chevaux. Son poids est de 300 livres, soit 136 kg.

« L'arbre du moteur attaque, à l'aide d'un pignon, un arbre intermédiaire; ce dernier actionne les roues d'arrière du véhicule par l'intermédiare d'ergots mobiles, disposition qui a l'avantage de leur permettre de se mouvoir indépendamment dans une courbe.

« L'électrobat n° 2, qui prit part à la course du *Times Herald*, a été calculé pour recevoir quatre voyageurs, y compris le conducteur. Son poids total est de 750 kg, et sa forme gracieuse pourrait bien être le type d'une classe nouvelle de voitures. A l'exception du levier servant à la direction, le mécanisme se trouve entièrement

caché ; on ne peut donc pas reprocher à notre véhicule, comme à tant d'autres, de ressembler à une locomotive plutôt qu'à une voiture d'agrément. La force motrice est produite par deux moteurs « Lundell » de 1 $^1/_2$ cheval chacun, disposés en avant de la voiture et attaquant chacun une roue de celle-ci à l'aide d'un pignon. C'est au moyen du levier dont nous avons déjà parlé et qui se trouve placé près du siège du conducteur, que s'effectue la manœuvre de la voiture. Le levier attaque les deux roues d'arrière du véhicule et les déplace tout en assurant leur parallélisme.

« Nous avions contre nous l'opinion de presque tous les constructeurs et, en effet, de prime abord, il paraît plus rationnel de rendre l'avant-train mobile et l'arrière-train fixe. L'expérience a cependant donné raison à notre manière de faire ; notre voiture se dirige sans efforts et avec une grande sûreté ; elle peut tourner dans un cercle de 6 mètres de diamètre. Les roues sont en bois et de construction ordinaire, mais nous avons cru bien faire en les munissant de bandages pneumatiques. Jusqu'à présent, nous n'avons qu'à nous féliciter de leur emploi, et nous sommes convaincus qu'avec quelques légères modifications, les bandages pneumatiques s'imposeront pour ce genre de locomotion.

« La batterie nous a été fournie par « The Electric Storage Battery Company », de Philadelphie. Elle comprend quatre groupes de 12 accumulateurs chacun, possédant une capacité de 50 ampères-heures par accumulateur. Nous les avons disposés dans un certain nombre de boîtes qu'il est aisé d'introduire ou de retirer de la voiture en moins de deux minutes. C'est automati-

quement que les accumulateurs sont mis en communication avec les différentes touches du régulateur, et les divers groupements que l'ont peut réaliser permettent d'obtenir trois vitesses successives et la marche en arrière. On peut atteindre jusqu'à 32 kilomètres à l'heure sur une bonne route ; la capacité des accumulateurs permet de parcourir 40 à 50 kilomètres d'une traite.

« Chaque accumulateur a, nous l'avons dit, une capacité de 50 ampères-heures. Il pèse, tout compris, 6 kg environ. Douze de ces accumulateurs groupés ensemble peuvent fournir à la décharge 1 kilowatt-heure, ce qui représente environ une puissance de 1 cheval 1/3. Le poids du groupe ainsi constitué est de 72 kg ce qui permet à deux hommes de le manier facilement.

« Quant à l'avenir de la voiture électrique, nous croyons pouvoir présumer que l'application la plus pratique consistera à appliquer ce mode de traction aux voitures d'agrément et aux véhicules destinés à livrer des marchandises dans un rayon déterminé. Nous ne pensons pas que le moment soit venu d'engager nos voitures dans de longs voyages, car, dans bien des localités, il serait impossible de recharger les accumulateurs et d'assurer leur bon entretien. Notre plan consistera donc dans la construction d'un assez grand nombre de véhicules de même type, de façon à prévoir l'établissement d'une petite usine destinée à la charge, à l'entretien et au remisage de nos voitures, jusqu'au jour où nos clients seront assez familiarisés avec leur instrument pour en assumer toute la responsabilité.

« Il nous est difficile d'évaluer exactement à combien reviendra chaque automobile ; mais nous croyons pou-

voir assurer que, fabriqués en grande quantité, le prix de la voiture industrielle ne dépassera pas 600 à 800 dollars et celui de la voiture d'agrément 1 200 à 1 500 dollars.

« Si l'on considère le travail actuellement fourni par les chevaux, on trouve qu'à Philadelphie, par exemple, où il n'y a pas moins de 100 000 chevaux, dont l'entretien, la nourriture et l'amortissement du prix d'achat représentent en moyenne 1 dollar par jour et par tête ; ce qui, pour les 100 000 chevaux, fait prévoir une dépense annuelle de 30 000 000 de dollars. Il serait possible d'assurer le même service avec nos voitures électriques pour la somme de 500 dollars par jour, soit un total de 15 000 000 de dollars par an, ce qui permet donc de prévoir une économie de 50 % sur la traction animale. »

Les chiffres que nous fournit le constructeur américain nous paraissent un peu exagérés et nous croyons difficile de pouvoir compter sur une capacité, à décharge maxima, de 50 ampères-heures sous un poids total de 6 kg. Certes, il n'est pas difficile de faire des accumulateurs remplissant ces conditions, mais cet organe sera-t-il assez robuste pour résister longtemps au travail dur et irrégulier qu'on lui demandera ?

Il est à remarquer cependant que la voiture électrique a beaucoup plus sa raison d'être en Amérique qu'en Europe. Alors qu'il serait souvent difficile de faire recharger sa voiture tous les 30 kilomètres sur le vieux continent, cette condition, *sine qua non*, peut être réalisée en Amérique. L'énergie électrique y est, en outre, très bon marché à cause du développement considérable de toutes les applications mécaniques de cet agent, et il

n'y a rien d'étonnant qu'une voiture électrique à Philadelphie puisse coûter moins cher que la traction animale, alors qu'en France, en comptant le kilowatt-heure à 1 franc, c'est sans doute l'inverse qui se produirait.

Si la traction électrique par accumulateurs est chère, c'est surtout à cause du poids considérable de ceux-ci. Remarquons par exemple que l'Electrobat n° 2, pour faire une quarantaine de kilomètres, est obligé de traîner avec lui 288 kg d'accumulateurs, 136 kg de moteur et environ 70 kg d'engrenages et de régulateur ; c'est un poids mort d'environ 500 kg, bien lourd pour une voiture de 750 kg capable de transporter quatre personnes. Il en résulte forcément un effort de traction double de celui qui serait nécessaire pour tirer la voiture et les voyageurs sans les organes électriques.

Plus le parcours à effectuer sans relai sera court, moins on aura à transporter d'accumulateurs, c'est-à-dire de poids mort ; jusqu'à une certaine distance, ce mode de traction pourra donc être rémunérateur ; mais à la condition expresse, comme M. Salom le prévoit fort bien d'ailleurs, d'avoir des usines à proximité pour le rechargement des accumulateurs.

Toutes ces conditions nous paraissent bien difficiles et bien peu praticables à Paris et, malgré le succès qu'elle a obtenu au concours du *Times Herald*, l'électricité aura, croyons-nous, fort à faire encore pour lutter contre le pétrole.

VOITURE ÉLECTRIQUE DE M. BOGARD

La voiture de Bogard que nous représentons par la Fig. 96, est du type appelé en carrosserie *dog-cart* de chasse. Ce type convient bien à la locomotion par accu-

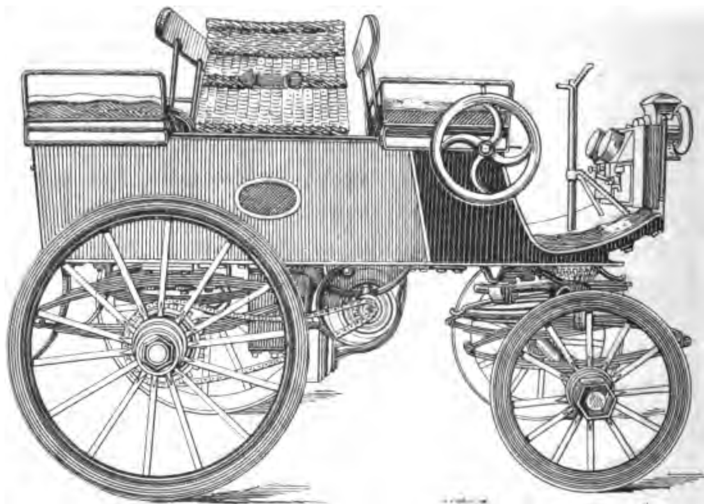


Fig. 96. — Voiture Bogard.

mulateurs à cause de la place relativement considérable dont on dispose. M. Bogard n'a pas cherché à obtenir des vitesses élevées, mais il a voulu créer un type de voiture électrique pratique pour une ville et qui puisse marcher pendant 10 heures à une vitesse moyenne de 12 kilomètres à l'heure.

A notre avis c'est peut-être ce qui a été fait de mieux

dans cette voie et, si on ne tient pas compte de la question économique, le véhicule de M. Bogard nous semble réaliser les conditions de praticabilité que l'on exige avant tout. La voiture peut marcher une journée, ce qui est un grand point pour un particulier qui veut faire une promenade d'une certaine longueur sans être contraint de revenir plus tôt ou d'aller moins loin faute de watts dans les accumulateurs.

Elle peut contenir cinq voyageurs, et même six au besoin.

Toute la caisse de la voiture est employée à loger les accumulateurs du système Dujardin.

La batterie est composée de 51 éléments du type léger. Chaque élément contient 3 plaques positives et 4 négatives, le tout contenu dans des boîtes de caoutchouc durci : une toile métallique entièrement noyée dans l'épaisseur de la paroi en caoutchouc augmente beaucoup la solidité de ces boîtes. Les trois plaques positives sont réunies ensemble, afin qu'on puisse les sortir facilement lorsqu'on a besoin de visiter un élément. Le poids total d'un élément, y compris le couvercle du récipient et les connexions, est de 22^{kg},500 et sa capacité d'environ 300 ampères-heures. D'où, pour la batterie entière, une énergie disponible de 30 kilowatts-heures environ, permettant de marcher 10 heures de suite à vitesse moyenne. Cette batterie de 51 éléments est divisée en 5 groupes : 1 groupe de 7 éléments servant à l'excitation de la dynamo et 4 groupes de 11 éléments réunis en tension ou en quantité, suivant les vitesses à obtenir.

On a eu recours à l'excitation indépendante de façon à pouvoir faire varier la vitesse du moteur en diminuant

ou en augmentant le voltage appliqué à l'induit en agissant sur le groupement des quatre boîtes d'accumulateurs. On pouvait réaliser les combinaisons suivantes :

1° Quatre boîtes en série contenant chacune 11 éléments en série ; tension 88 volts.

2° Les boîtes en quantité deux par deux et les deux groupes ainsi formés en série ; tension 44 volts.

3° Toutes les boîtes en quantité ; tension 22 volts.

Si on désigne par e la force contre-électromotrice (Chap. III), par n le nombre de spires sur l'induit, par N le flux de force créé par l'excitation et par N le nombre de tours par seconde on a :

$$e = N.n.N10^{8}.$$

Puisque n et N sont invariables dans le moteur considéré, il s'en suit que le nombre de tours que fera le moteur sera proportionnel à e et sensiblement proportionnel au voltage E appliqué à l'induit, puisque

$$E = e + i^{2}r + \text{pertes}.$$

Si l'on fait varier E en agissant sur le groupement des accumulateurs, on obtiendra donc des vitesses variant sensiblement comme le voltage de ces derniers. Le rendement ne s'en trouvera que peu affecté ; mais, il faut remarquer que le couple restera constant quelle que soit la vitesse obtenue pour une même intensité de courant, puisqu'il est proportionnel au produit de ce dernier par le flux de force dû à l'excitation. Lorsque l'on aura à gravir une pente, par exemple, on ne disposera pas d'un couple supérieur à celui que l'on peut obtenir sur terrain plat, ce qui à notre avis est un inconvénient sérieux. Il serait bien préférable dans ce but de faire tour-

ner le moteur à grande vitesse et de commander les roues par un système démultiplicateur qui permetterait ainsi d'utiliser toute la puissance disponible, tout en faisant avancer le véhicule à petite vitesse.

M. Bogard a compris cet inconvénient et se propose, paraît-il, de modifier sa transmission de façon à agir sur la vitesse, non plus en modifiant le voltage, mais en diminuant ou en augmentant le système démultiplicateur interposé entre le moteur et l'essieu du véhicule.

La première manière de modifier la vitesse du véhicule simplifie beaucoup la transmission, mais ne peut être recommandable que si la voiture doit toujours se déplacer en terrain plat ou très peu accidenté, lorsqu'une diminution de vitesse correspond toujours à une diminution de puissance requise.

Le poids total du véhicule en ordre de marche est d'environ 2 200 kg, y compris les accumulateurs et le moteur. Ainsi que nous l'avons dit, ce dernier est à excitation séparée. Il a été construit par M. Rechniewski et, suivant la pratique de cet ingénieur, l'induit est denté de façon à abriter les fils dans les rainures ainsi obtenues et à assurer une faible résistance magnétique à l'entrefer.

Les électros sont parcourus par un courant de 14 ampères environ sous 13 à 15 volts. L'induit, sous 90 volts, peut absorber jusqu'à 60 ampères et donner à ce moment 6 chevaux 1/2 disponibles sur l'arbre. Le moteur pèse 219 kg ; il tourne à 1 250 tours sous 88 volts, à 600 tours sous 44 volts et à 300 tours sous 22 volts ; à pleine charge, il fournit 45 ampères et une moyenne de 5 ou 6 chevaux de force.

La marche *AR* s'obtient en changeant le sens du courant dans l'excitation.

Le moteur est fixé sous le cadre de la voiture ; il attaque, au moyen d'un pignon, l'engrenage d'un mouvement différentiel calé sur un arbre intermédiaire ; celui-ci, à son tour, par des chaînes et des pignons fixés à ses extrémités, commande les roues dentées solidaires des moyeux des roues d'*AR* et entraîne ainsi l'ensemble du véhicule.

Au point de vue de la carrosserie, la voiture de M. Bogard ne laisse rien à désirer et nous sommes convaincu que lorsque l'inventeur aura modifié sa transmission de façon à conserver une vitesse constante au moteur électrique, son véhicule pourra rivaliser avec n'importe quel autre automobile électrique, fût-il même américain. Mais, pas plus que les autres constructeurs, M. Bogard ne pourra éviter le poids désagréable des accumulateurs qui limitent à une zone bien peu étendue la traction électrique. Nous ne reviendrons pas sur ce point que nous avons déjà étudié au Chapitre III.

CHAPITRE IX

RAPPORT SUR LES VOITURES AUTOMOBILES INSCRITES POUR LA COURSE DU « TIMES HÉRALD » DE CHICAGO

Les ingénieurs J. Lundie et L. Summers, chargés d'effectuer les essais nécessaires sur les voitures inscrites dans la course, viennent de terminer leur rapport qui a été immédiatement reproduit dans le *Times Hérald* de Chicago.

Nous sommes heureux de pouvoir présenter ce travail à nos lecteurs, car il est certain que ce document constitue ce qui a été fait de plus sérieux sur cette matière, et renferme des points de comparaison et des données précieuses non seulement pour les ingénieurs et les constructeurs, mais encore pour tous ceux qui s'occupent d'automobilisme.

La commission s'est d'abord efforcée de choisir un ensemble d'expériences qui permettent la comparaison entre la traction mécanique et la traction animale.

Il s'agissait en effet d'établir d'abord que les véhicules automobiles étaient propres à réaliser ce que l'on demande aux voitures ordinaires et ce que l'on en obtient;

par conséquent, c'est le cheval que l'on a pris comme base de comparaison. Pour faciliter cette comparaison, on a cru bon de faire une courte digression sur les premiers essais destinés à mesurer la puissance d'un cheval.

Le cheval comme unité de puissance.

Dès l'apparition de la machine à vapeur, on trouva nécessaire de comparer la somme de travail que l'on pouvait obtenir avec ce genre de machines, avec celle que l'on pouvait obtenir d'un cheval, afin que l'acheteur pût évaluer la puissance qui lui était nécessaire en une unité dont la valeur lui est familière.

James Watt, le premier, détermina avec quelque exactitude la puissance moyenne d'un cheval. Il trouva que 67 kg pouvaient être soulevés par un cheval à une vitesse de 4 020 mètres à l'heure, ce qui correspondait par conséquent à une puissance de 75 kilogrammètres.

D'après Watt, le cheval pouvait développer cette puissance pendant 8 heures par jour.

Des expériences ultérieures ont montré que cette puissance était exagérée et qu'un *cheval moyen* ne pouvait guère produire que 50 kilogrammètres pendant 8 heures. Pendant un temps plus court, on pouvait évidemment lui faire donner davantage.

Le tableau suivant, de Trautwine, nous donne quelques chiffres sur ce sujet :

Vitesse du cheval en kilomètres par heure	Effort de traction en kilogrammes
1km,200	151
1 ,600	113
2 ,019	90
2 ,413	75
2 ,815	64,5
3 ,218	55,6
3 ,520	50,3
4 ,022	45,36
4 ,424	41,2
4 ,827	38,7
5 ,631	32,4
6 ,435	28,4

Il est évident, du reste, qu'un cheval peut non seulement exercer un effort de traction considérable au démarrage, mais encore qu'il peut faire varier cet effort en marche dans des limites très étendues, ce qui le rend très propre à la traction en général. On n'est pas absolument d'accord sur l'effort maximum que le cheval peut fournir; il est certain que cet effort variera considérablement avec le poids du cheval, son empâtement et le terrain qui lui sert d'appui. Nous ne croyons pas qu'un cheval puisse jamais fournir un effort de traction supérieur à 180 kg.

Pour comparer une automobile à une voiture attelée, il faut donc mesurer l'effort que le moteur peut développer sur la jante des roues motrices et la vitesse circonférentielle de ces dernières. En divisant le produit de ces deux facteurs par 75 kilogrammètres, on trouvera la puissance en chevaux de l'automobile en question. En mesurant pendant la durée de chaque essai la consommation du moteur, il devient aisé de déduire des

expériences ainsi conduites, le prix du cheval-heure développé sur la jante des roues motrices.

Lorsque l'essai était possible, on a cherché également à déterminer la puissance perdue entre le moteur et les roues motrices, ainsi que l'influence des divers modes de réglage sur la consommation du moteur.

ESSAIS DE CONSOMMATION

Ces essais ont porté sur la consommation du moteur à diverses charges, correspondant aux exigences de la locomotion automobile.

Afin que tous les moteurs fussent essayés dans les mêmes conditions, on les alimenta avec de la gazoline venant du même récipient, ayant une densité de 688°, et dont le prix a été estimé à 0 fr. 22 le kg pour arriver aux chiffres de la table ci-jointe.

Le prix du kilowatt-heure a été compté en se basant sur un rendement moyen de 75 % pour les accumulateurs.

Effort maximum de traction développé par les Automobiles

On a cru utile de déterminer ce facteur pour mieux comparer encore l'automobile avec le cheval. Il est bon cependant de faire remarquer que les véhicules essayés étaient tous destinés, non à fournir un effort considérable à faible vitesse, mais au contraire un effort de traction relativement faible sous une vitesse considérable.

Pour déterminer l'effort maximum, on appliqua sur les roues un couple résistant de plus en plus grand jusqu'à l'arrêt du moteur.

La voiture Duryea, par exemple, ne donna qu'un effort de traction de 85 kg, tandis que nous avons vu qu'un seul cheval pouvait développer un effort de 180 kg.

Cependant, dans aucun des essais il n'a été possible de faire patiner les roues motrices sur le sol, ce qui permet donc de croire que l'effort de traction aurait pu être augmenté de beaucoup sans occasionner de glissement en démultipliant le moteur. Lorsque les véhicules essayés utilisaient des transmissions par courroies, l'effort maximum correspondait généralement au glissement des courroies. La voiture de M. Macy n'a pu être essayée d'une façon complète, à cause du mauvais état des courroies; le motocycle de Lewis a eu ses chaînes de transmission cassées, lorsqu'on a cherché à mesurer l'effort maximum qu'il était capable de développer. Quant aux automobiles électriques, il va de soi que le couple maximum dépendait uniquement du courant que l'on pouvait envoyer dans le moteur sans le brûler.

En consultant les tableaux (p. 270 à 273), on remarquera une grande différence entre la consommation des divers véhicules essayés. Cela provient uniquement du genre de moteur employé; presque tous les moteurs à deux temps sont caractérisés par une consommation exagérée; cela provient, en général, de ce que les gaz sont imparfaitement brûlés. Les voitures de Lewis et Haynes sont dans ce cas; pendant l'essai de ces véhicules, les gaz d'échap-

pement étaient si chargés de carbures qu'il a fallu munir le moteur d'un conduit spécial débouchant à l'extérieur, pour ne pas empester la salle d'essai. Il faut dire cependant que les moteurs à deux temps ont une marche bien plus régulière que les autres.

Il est à regretter, au sujet de la voiture Duryea, que le dérangement arrivé à l'appareil d'inflammation n'ait pas permis de pousser plus loin les essais commencés.

Tous ceux qui s'occupent de la construction des moteurs à gaz savent que le cycle réalisé est moins économique que celui que l'on peut obtenir avec la vapeur. Le rendement moyen devient encore plus mauvais lorsque les moteurs à gaz sont appliqués à la traction, et cela pour deux raisons :

1° A cause de l'énergie dépensée inutilement dans le mécanisme de transmission ;

2° Parce que, un moteur de quatre chevaux, par exemple, ne travaille que rarement à sa vitesse et à sa puissance normales, de sorte que son rendement ne peut être élevé.

Voilà pourquoi la consommation des voitures automobiles est relativement considérable.

En ce qui concerne le moteur Benz, on a cherché à réduire le mécanisme de transmission en n'employant que deux changements de vitesse. Pour les vitesses intermédiaires, on agit sur l'admission du mélange carburé ; mais, il est aisé de se rendre compte en consultant les tableaux (p. 270 à 273), que la facilité de conduite et la simplicité du mécanisme sont plus que compensés pour une consommation très forte, lorsque le moteur ne marche pas à sa vitesse normale.

Il est évident, par exemple, que le cheval utile produit sur la jante de la roue motrice, lorsque le moteur tourne dans les meilleures conditions de vitesse et de puissance, coûte environ un quart de ce qu'il coûte lorsque le moteur tourne dans les plus mauvaises conditions possible.

Dans les types de voitures analogues à celles de Duryea où la vitesse du moteur est toujours constante, le rendement varie avec le travail effectué. Dans certaines conditions, il peut arriver qu'une automobile monte des côtes à la même vitesse qu'en terrain plat, sans augmentation de consommation, tout simplement parce que l'accroissement de puissance requise est compensée par l'amélioration du rendement.

L'emplacement du moteur et le mode de transmission influe beaucoup sur les trépidations communiquées au véhicule. Lorsque le moteur est disposé à angle droit avec l'essieu moteur, comme dans les voitures munies du moteur Benz, les trépidations sont généralement assez fortes, surtout au moment du départ. L'automobile de MM. Haynes et Apperson est munie d'un moteur à deux cylindres disposés chacun d'un côté de l'arbre de transmission ; ce dispositif diminue beaucoup les secousses.

Voitures électriques

Il est assez difficile de préciser le rendement et la valeur d'une automobile électrique. Le rendement de la batterie d'accumulateurs variera beaucoup avec l'intensité de la décharge qui dépendra du travail produit. Le coût de l'énergie électrique est également un facteur va-

riable d'une ville à une autre, et il faudra en tenir compte pour déterminer le prix de la traction électrique.

Suivant le genre de travail demandé au véhicule, il faudra compter sur une détérioration plus ou moins rapide des accumulateurs.

Emploi d'un ou de deux moteurs

Les deux automobiles de Sturges et de MM. Morris et Salom ont fourni l'occasion d'une comparaison intéressante. La première comme la seconde emploie un moteur Lundell pour l'actionner; mais, tandis que M. Salom se sert de deux moteurs pour attaquer séparément chacune des roues motrices, M. Sturges n'emploie qu'un seul moteur de trois chevaux agissant sur un arbre différentiel.

Le rendement des moteurs des deux voitures est sensiblement le même; mais, il va de soi que la transmission, dans le cas de deux moteurs séparés, sera plus grande que si l'on n'en emploie qu'un. La faculté de pouvoir coupler les moteurs en tension ou en quantité ne paraît pas justifier l'emploi de deux moteurs; le seul avantage réel de ce dispositif est d'assurer l'indépendance complète des roues motrices sans l'emploi d'un mouvement différentiel.

Signé : JOHN BARRETT

LL. SUMMERS CHAUMAN OF COMMITEE

JOHN LUNDIE

Ingénieurs.

VOITURES ÉLECTRIQUES

				Energie totale du moteur		Energie électrique dépensée en chevaux	Kilowatts fournis par les accumulateurs par cheval utile	Kilogrammètre à la jante par kilowatt-heure dépensé					Débit		
				chev.									volts	amp.	Echauffement des coussinets
Morris et Salom	1	11,35	0,78	1,12	0,70	1,36	1,74	15,45	0,87	55	0,34	5,2	97	10,5	
Moteur Lundell	2	13,15	1,78	2,46	0,72	2,90	1,63	17,00	0,815	55	0,68	10,2	96	22,5	
Sturges Electric Motocyle C°.	1	18,6	0,41	0,62	0,66	0.99	2,42	11,2	1,22	55	0,21	1,87	35	21	
(Lundell motor	2	19	1,14	1,53	0,74	1,94	1,70	15,8	0,8	55	0,39	4,5	69	11	

ESSAIS DE LA PUISSANCE ET DE LA

Désignation des véhicules	Nombre d'expériences	Effort de traction en kilogrammes	Puissance en chevaux sur la jante	Puissance totale du moteur en chevaux	Rendement organique	Consommation de gazoline par heure-kilogrammes
De la Vergne (Mot. Benz) New-York	1	16.2	0,70	1,41	0,50	1,47
	2	23,6	1,57	2,97	0,53	2,02
Duryea Sprinfield Mars	1	3,8	1,1	1.69	0.65	1,82
	2	39,7	1,16	1,75	0,15	1,7
Haynes et Apperson kokomo Irid	1	10,5	0,26	0,87	0,30	2,62
	2	17,8	0,95	2,23	0,46	2,6
Lewis (Chigago)	1	22,7	0.53	1,03	0.50	1,49
	2	7,75	0,25	0,90	0,28	1,48
Macy (New-York)	1	23,6	0,83	2.31	0,36	1,46
	2	39,6	2,5	5,18	0,48	2,22
Mueller, 8 Sars, Mueller-Beny, moteur	1	41,9	1,18	1,79	0,66	1,58
	2	19,3	69	1,46	0,47	1,75
	3	18	66	1,47	0,45	1,71
	4	33,4	2,18	3,75	0,58	1,54
	5	15,7	1,23	3,09	0,40	1,87

CONSOMMATION DES AUTOMOBILES

Consommation de gazoline par cheval-heure utile en kilogrammes	Kilogrammètres sur la jante par kilogrammètre de gazoline	Prix de revient du cheval-heure utile en francs	Effort de traction maximum	Travail absorbé par la transmission	Vitesse en mètres par 1″	Remarques
			kgs.	chev.		
2,5	58,7	0.46	73,5	0,71	3,12	
1,29	96	0,28		1,4	5,1	
1,65	75	0,362	85	0,59	2,2	Inflammation défectueuse
1,47	85,5	0,322		0,59	2,22	
9.8	12,5	2,15	54	0,61	1,9	Machine à deux cylindres; un seul fonctionnait
2,74	45	0,60		1,28	2,02	
2,8	43,9	0,62	49,7	0,53	1,8	Rupture de la chaîne
3	21,3	1,25		0,65	2,5	
1,77	70,6	0,39	46,6	1,48	2,6	Glissement de la courroie
0,89	140	0,195		2,68	4,8	
1,34	91,3	0,295		0,61	2,15	
2,54	48,6	0,60		0,77	2,74	
2,6	47,6	0,57	61	0,81	2,86	
0,71	175	0,157		1,57	5	
1,53	81	0,33		1,86	5,9	

DÉTAILS ET DIMENSIONS DES MOTEURS

	Poids sur les roues motrices	Poids sur les roues directrices	Poids total	Empâtement	Ecartement des roues motrices	Ecartement des roues directrices	Rayon des roues motrices	Rayon des roues directrices	Position des roues motrices	Nature des bandages	Combustible employé	Nombre de cylindres	Diamètre d'alisage des cylindres	Course du piston	Nature des roulements
	kgs.	kgs.	kgs.	mt.	mt.	mt.	mètres	mètres					cent.	cent.	
De la Vergne-New-York .	570	195	765	1,67	«	«	0,593	0,455	arrière	cao plein	gazol.	1	12,8	16,5	lisse
Duryea-Springfield . . .	330	222	552	1,44	1,37	1,34	0,57	0,468	«	pneu	«	2	10	11,25	«
Haynes et Apperson . . .	378	191	569	1,35	1,38	1,39	0,445	0,448	«	pneu	«	2	10	10	billes
Lewis-Chicago	408	354	762	1,40	1,16	1,16	0,575	0,417	«	cao. plein	«	1	12,5	12,5	lisse
Macy-New-York	655	174	829	1,66	1,30	1,30	0,595	0,448	«	«	«	1	12,5	17,5	«
Morris et Salom	572	177	749	1,23	1,11	0,91	0,495	0,355	avant	pneu	accum.	2 mot	«	«	billes
Mueller	570	174	714	1,83	1,25	1,19	0,60	0,46	arrière	cao. plein	gazol.	1	13,75	15,6	lisse
Sturges	946	665	1611	1,63	1,43	1,43	0,627	0,58	«	«	accum.	1 mot.	«	«	lisse

CHAPITRE X

GRAISSAGE — BANDAGES — RESSORTS — ESSIEUX CARBURATEURS — ALLUMAGE MISE EN TRAIN — TRÉPIDATION

—

VOITURES A VAPEUR

Une des conditions essentielles du bon fonctionnement des voitures automobiles ou tramways à vapeur, est le graissage des cylindres et des tiroirs. Les anciens godets à huile ont été depuis longtemps remplacés, sur les machines fixes, par des appareils automatiques de différents types, qui peuvent se diviser en deux grandes catégories : ceux dont le fonctionnement est dû à un effet physique, et ceux qui sont mus mécaniquement. Nous allons étudier ces différents types au point de vue de leur emploi dans l'automobilisme.

Le problème à résoudre est le suivant : trouver un appareil, réglable à volonté, fonctionnant d'une façon constante, quelles que soient les trépidations de la machine et les variations de la température, graissant à chaque coup de piston et se mettant en marche ou s'arrêtant automatiquement avec la voiture.

Les graisseurs de la première catégorie peuvent se classer en deux groupes principaux : les graisseurs dont

le fonctionnement n'est pas visible, et les graisseurs à gouttes visibles.

Ceux du premier groupe dont le fonctionnement ne peut pas être contrôlé sont à rejeter sans discussion.

Quant aux graisseurs à gouttes visibles ils se subdivisent en deux classes : les appareils à gouttes visibles descendantes et ceux à gouttes visibles ascendantes.

Les premiers sont d'une construction plus simple, et sont généralement munis de clapets qui doivent se fermer sous l'action de la vapeur et s'ouvrir lors de l'échappement pour laisser passer l'huile.

On conçoit que ces mouvements, déjà douteux sur une machine fixe, sont complètement déréglés à une allure aussi rapide et sous l'influence des trépidations d'une voiture.

D'autres appareils, à gouttes descendantes, sont construits comme les graisseurs pour paliers; mais ils se distinguent de ceux-ci par un petit tube qui amène la vapeur à la partie supérieure du godet, de façon à équilibrer la pression du cylindre et à permettre à la goutte de passer par l'ajutage.

On comprend sans peine que les états successifs de pression et de dépression lors de l'échappement, déterminent dans le godet une grande perturbation qui est encore augmentée par la trépidation de la voiture et que la vapeur se qui condense dans le godet arrive à se mélanger et même à se substituer à l'huile.

Les appareils à gouttes descendantes (genre Consolin) sont caractérisés par l'emploi de la condensation de la vapeur.

Un récipient rempli d'huile est mis en communica-

tion avec la chaudière par un tube en serpentin qui détermine une condensation lente L'eau ainsi formée s'accumule à la partie inférieure du récipient et chasse l'huile vers la partie supérieure.

L'huile ainsi refoulée passe par un orifice réglable situé à la partie inférieure d'un tube de verre rempli d'eau dans lequel s'élève la goutte d'huile en vertu de la différence de densité; l'huile passe de là dans un tube en cuivre qui communique avec le cylindre. Les principaux inconvénients que présente ce système sont l'irrégularité du débit, et la rupture des tubes de verre avec projection de vapeur et d'huile.

Mais l'inconvénient capital de tous les appareils physiques appliqués aux voitures automobiles est que non seulement le graisseur ne s'arrête pas avec la machine, mais, que si on oublie de le fermer, l'huile se vide complètement dans le cylindre et il est nécessaire de le régler à la remise en marche.

D'autre part, le réglage de tous ces appareils ne peut se faire que pendant l'arrêt, ce qui n'implique nullement le même réglage en marche.

Nous croyons donc avoir suffisamment démontré que les appareils physiques ne sont pas pratiquement applicables aux voitures automobiles. La solution réside donc dans l'emploi des graisseurs mécaniques dont nous allons faire la sélection.

Nous diviserons ces graisseurs en deux catégories :

Les graisseurs à action directe, et les graisseurs à réduction de mouvement.

Dans la première catégorie, nous comprendrons tous les appareils constitués par une petite pompe, ou tout autre

dispositif relié directement à un organe de la machine, et le refoulement.

Ces appareils peuvent être tolérés sur une machine puissante à faible vitesse, mais ne pourraient convenir sur une machine à allure rapide et ne nécessitant qu'une faible consommation d'huile.

Dans les appareils à réduction de mouvement, nous devons distinguer les appareils aspirants et foulants, et les appareils à compression.

Il est presque superflu d'indiquer la supériorité de ces derniers dont l'effet est assuré, puisque l'aspiration s'effectue à la main au moment du remplissage, et que le refoulement a lieu à chaque coup de piston de la machine.

Le lubrifieur « Mollerup » est certainement celui qui donne les meilleurs résultats, mais les objections qu'on a pu faire sont les suivantes : Le rochet, et surtout le cliquet, s'usent rapidement, et produisent un bruit désagréable. Le réglage est subordonné au minimun de une dent, ce qui ne permet qu'un débit proportionnel à la progression numérique. Ainsi, par exemple : si on trouve qu'un débit de 100 grammes dans un temps donné est insuffisant, on doit le porter à 200 grammes, ce qui peut être excessif ; dans d'autres cas, si l'appareil refoule tout son contenu en 6 heures avec deux dents, et qu'on veuille marcher 7 heures sans remplissage, on devra donc réduire à une dent, soit porter le débit à 12 heures, ce qui est inutile et peut ne pas donner une lubrification suffisante.

Enfin, on objecte parfois que l'appareil est trop lourd, pour certaines voitures particulières.

Voici comment ces dernières difficultés ont été résolues par la maison Drevdal avec son nouveau type « Terminus » dont nous donnons ci-dessous une élévation et une coupe :

Elévation.



Fig. 97.
Graisseur « Terminus »

Coupe.

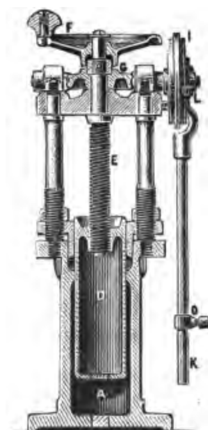


Fig. 98.
Graisseur « Terminus » coupe

L'appareil est essentiellement constitué par un corps de pompe A (Fig. 98) dans lequel se meut un piston D sous l'action d'une vis E, mue par une roue héliçoïdale G qui est commandée par une vis sans fin, sur laquelle est calée une roue d'entraînement I. Ce dernier organe constitue le nouveau dispositif remplaçant le rochet.

Cette roue est caractérisée par deux cordons, en saillie sur chaque face, et sur lesquels viennent s'atteler les chiens L qui prennent leur point d'appui sur la tête de chappe montée sur le moyeu de la roue.

Cette chappe est terminée par la tige K sur laquelle est monté le curseur O qu'on attelle sur une petite bielle qui transmet au lubrifieur le mouvement de la machine pris sur une pièce ayant une faible course (2 à 3 centimètres).

Le remplissage du « Terminus » s'effectue en versant l'huile dans le godet pendant qu'on relève le plongeur à l'aide du volant pour déterminer l'aspiration.

L'huile refoulée par la descente du plongeur, est amenée au point à graisser par un petit tube de cuivre terminé par une soupape de retenue. Cette soupape, qui ne s'ouvre que sous la pression de l'huile, a pour but d'empêcher le tube de se vider pendant l'arrêt.

C'est le « Terminus » du type de 300 grammes qui est appliqué sur tous les tramways automobiles : Serpollet, Scotte, etc. ; grâce au réglage illimité du débit, on peut effectuer la plus grande journée de marche (130 kilomètres) sans remplissage, ce qui représente une dépense de 23 décigrammes par kilomètre et un refoulement de 2 milligrammes par coup de piston.

Reste donc la question du poids de l'appareil, qui peut être un inconvénient pour certaines voitures particulières. A cet effet, la maison Drevdal a établi des types en aluminium, d'une contenance de 50 à 100 grammes d'huile.

Ainsi se trouve donc complètement résolue la question si importante de la lubrification des cylindres et tiroirs à vapeur.

MOTEURS A PÉTROLE

La partie la plus importante du graissage des moteurs à pétrole est naturellement celle concernant le cylindre.

Nous n'avons plus à vaincre une pression constante comme dans les cylindres à vapeur, mais l'élévation de la température au moment de la déflagration des gaz, l'évacuation complète qui suit et entraîne une notable partie de l'huile, rendent le graissage particulièrement difficile.

Parmi les divers systèmes d'appareils établis pour le graissage des cylindres, nous éliminerons les graisseurs dont le fonctionnement repose sur un principe physique, pour les raisons que nous avons développées dans l'étude du graissage des cylindres et nous donnerons la préférence aux appareils mécaniques.

Mais les objections de poids, de volume, de simplicité dans les organes et la manœuvre, sont bien plus fondées que pour les voitures à vapeur.

Ces diverses questions ont été résolues par la création de l' « Oléopompe » établi par la maison Drevdal et dont nous donnons ci-après une élévation (Fig. 99) et une coupe (Fig. 100).

Cet appareil est essentiellement constitué par un corps de pompe A dans lequel se meut un piston B, actionné par la came double C montée sur l'arbre D entraîné par le rochet E sous l'action du cliquet F porté par le levier I.

Ce dernier est relié au moteur par une petite bielle attelée sur mouvement ayant une faible course.

La distribution de l'huile se fait par l'intermédiaire du cône rodé G qui porte des orifices disposés de telle sorte que le réservoir d'huile H, et le tuyau de refoulement qui conduit au point à graisser, sont alternativement en communication avec le corps de pompe A.

L'aspiration de l'huile dans le corps de pompe est produite par le relèvement du piston B, qui, poussé par le ressort placé à sa partie inférieure, échappe dans les deux dégagements de la came C.



Fig. 99. — Oléopompe Drevdal. Élévation.

Coupe.

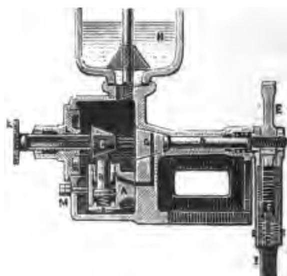


Fig. 100. — Coupe de l'oléopompe Drevdal.

Le refoulement de l'huile vers l'orifice est produit par le développement des deux ailes de la came C sur la tête du piston B.

L'aspiration a donc lieu deux fois par tour et se produit instantanément, tandis que le refoulement se produit d'une façon presque continue.

Il est à remarquer que l'aspiration ne peut donner lieu à aucun « raté » pour les raisons suivantes :

1° L'aspiration a toujours lieu sous charge, puisque la prise d'huile se fait dans la boîte du mouvement qui communique avec le récipent H placé à la partie supérieure.

2° L'appareil ne comporte pas de clapets, ce qui supprime tous les inconvénients inhérents à ces organes.

3° Les orifices se trouvent directement en communication lors de l'aspiration.

Enfin, ce qui facilite encore l'aspiration, c'est que l'huile employée pour les cylindres à pétrole est fluide, contrairement à ce qui a lieu pour les cylindres à vapeur pour lesquels on emploie des huiles concrètes.

Quant au refoulement, il est forcément infaillible comme la descente du plongeur.

Pour le réglage de l'Oléopompe, on établit le mouvement d'attelage de façon à prendre une dent au rochet, puis, on règle le débit de l'huile selon les besoins du moteur, en faisant tourner le volant K suivant les inscriptions : grand, moyen, petit débit, portées sur le parcours de l'aiguille du volant.

Le récipient H porte des divisions de 50 et 100 grammes, qui permettent de contrôler la consommation de l'huile.

Pour le remplissage, il suffit de verser d'huile dans le récipient H.

Il est à noter que l'agitation que peuvent produire les trépidations dans le récipient à huile, ne peut influer en rien sur la marche de l'appareil, puisque, comme nous l'avons dit, l'aspiration a lieu dans la boîte du mouvement, constamment pleine d'huile, et qui ne peut par conséquent subir aucune perturbation.

Pour les machines nécessitant le graissage sur plu-

sieurs points, l'Oléopompe se construit à deux ou trois raccords pour autant de tuyaux de refoulement.

Pour les machines à très grande vitesse, ou rotatives, l'Oléopompe est construit avec un dispositif à vis sans fin et poulie, pour être commandé par courroie. On peut également remplacer le rochet par le mouvement d'entraînement sans dents de l'appareil Terminus.

Enfin si le poids, quoique peu élevé ($4^{kg},500$), est encore un obstacle, la maison Drevdal construit l'appareil en aluminium.

Parmi les autres avantages réalisés dans la construction de l'Oléopompe, on doit considérer que :

1° Toutes les pièces de l'appareil sont robustes et fonctionnent lentement dans un bain d'huile, de sorte que l'usure est presque nulle, et que l'appareil n'a pas besoin d'être graissé.

2° L'Oléopompe peut être démonté, visité et réparé, s'il y a lieu, avec la plus grande facilité.

Le problème difficile du graissage des cylindres à pétrole est donc complètement résolu par l'emploi de cet appareil, et, chose assez rare pour mériter d'être mentionnée, sans créer d'inconvénients secondaires.

Nous tenons également à signaler l'Oléopolymètre, construit par la maison R. Henry, à Paris, et destiné spécialement au graissage de voitures à pétrole ; cet appareil donne de très bons résultats. Nous regrettons vivement de ne pouvoir en donner une description complète, car, tout ce qui se rattache à cette question importante du graissage est du plus grand intérêt pour ceux qui s'occupent de locomotion automobile.

BANDAGES

S'il est une question d'actualité, c'est bien celle des bandages pour voitures automobiles et autres.

Les bandages en fer sont certainement de beaucoup les plus employés, bien qu'à tous les points de vue ils soient de beaucoup inférieurs aux bandages en caoutchouc, et surtout aux pneumatiques. Il est à peine besoin de signaler les avantages de garnitures élastiques pour les roues, tant pour atténuer les chocs et réduire ainsi l'usure d'un véhicule que pour diminuer l'effort de traction.

Mais, un autre facteur entre forcément en jeu au point de vue industriel, c'est le coût et la durée des bandages élastiques. Tout bien compté, ces derniers donnent encore, dans presque tous les cas, satisfaction à cet égard, et si le bandage en fer est encore si couramment employé, c'est grâce à l'inertie de l'habitude et à la routine, qu'il est malheureusement si difficile à déraciner.

Des expériences très variées, faites à Clermont-Ferrand par la société Michelin qui s'est fait une spécialité des bandages pneumatiques pour voitures et s'est lancée hardiment dans cette voie, il résulte d'une manière indiscutable, que le pneumatique diminue considérablement la traction et l'usure du véhicule.

Sans nous arrêter sur la diminution très appréciable de l'usure de la voiture, qui résulte de la suppression des trépidations par l'emploi du pneumatique qui se

moule sur l'obstacle en épousant sa forme, et amoindrit le choc d'autant plus complètement que les obstacles sont plus rapprochés les uns des autres, nous étudierons plus spécialement la diminution dans l'effort de traction.

Les essais ont été faits comparativement avec des roues ferrées sur terrains variés, sous différentes charges et à diverses allures.

ESSAIS FAITS DANS LA NEIGE

	Roues en fer	Pneus
Voiture au pas, vide.	17,86	11,45
— — surcharge de 150 kil.	17,83	12,71
— — trot, vide.	29,60	15,27
— — surcharge de 150 kil.	31,17	17,96

ESSAIS FAITS DANS LA BOUE

	Roues en fer	Pneus
Voiture au pas, à vide	16	10,50
— — surcharge de 150 kil.	17,30	12,43
— — à vide	19,55	12,97
— — surcharge de 150 kil.	23,06	14,16

MOYENNE DES ESSAIS SUR MACADAM SEC, NEUF, POUSSIÉREUX, BON PAVÉ, AVEC RAMPES, PARTANT DE 1,2 % A 5,8 %

	Roues en fer	Pneus
Voiture vide, au pas	17,42	14,05
— — au trot	20,41	15,95
— — au pas, charge de 300 kil.	20,75	19,14
— — au trot, charge de 300 kil.	29,70	16, 40

Les chiffres précédents montrent donc nettement que le pneumatique nécessite toujours un effort de traction moindre que les roues en fer, et que l'avantage du pneu est plus considérable au trot qu'au pas, et en charge qu'à vide.

Une autre série d'expériences faites avec des pneus gonflés à différentes pressions, a donné les résultats suivants :

	Roues ferrées	Pneus à 3 kil.	Pneus à 4,500
Voiture vide, au trot . .	21,20	15,45	17,95
— 300 kg. au pas . .	21,80	20,34	19,96
— 300 kg. au trot . .	29,18	20,52	23,62

La moyenne totale de ces expériences répétées sur terrains variés et à toutes allures donne les chiffres suivants :

Pneumatiques	Roues en fer
100 kg.	132,7

Sans nous étendre plus longuement sur ce sujet, nous pouvons en conclure sans exagération, que le succès du pneumatique en carrosserie est dès maintenant assuré, et que l'adaptation du pneu à toutes les voitures n'est plus qu'une question de temps.

En ce qui concerne l'automobilisme qui, à peine né, promet de prendre une envolée gigantesque, le pneumatique est appelé à rendre des services encore plus appréciables.

Outre l'intérêt primordial qui consiste à ménager son moteur, qu'il soit animé ou mécanique, en diminuant l'effort qu'on lui demande, il y a encore la question du bruit et de la trépidation du moteur.

Avec le pneumatique, le bruit assourdissant de ferraille qu'on reprochait si justement aux premières voitures automobiles disparaît complètement. Les secousses occasionnées par la marche du moteur étant amorties, son fonctionnement devient plus régulier, les boulons ne se desserrent plus, et les arrêts sont moins fréquents.

Le montage des pneumatiques se fait ou bien sur moyeux et roues en bois, ajustés soit dans des douilles, soit sur une jante en bois, ou bien sur moyeux et rayons métalliques.

Roues en bois. — La jante du pneumatique s'applique sur une jante en bois dans laquelle sont encastrés les rayons, ou bien ces rayons viennent s'encastrer dans des douilles métalliques qui sont elles-mêmes rivées directement sur la jante du pneu. Ce montage à douilles est plus élégant et d'un aspect plus satisfaisant à l'œil, puisque le diamètre du boudin est diminué de l'épaisseur de la jante en bois ; il est tout aussi solide que le montage sur jante en bois et semble avoir déjà la faveur des grands carrossiers.

Roues métalliques. — Les roues se montent en rayons directs ou en rayons tangents ; mais s'il s'agit de roues motrices, ces derniers sont à employer de préférence.

Les rayons en fer, qu'ils soient directs ou tangents, travaillent à la traction, c'est-à-dire que le moyeu est suspendu au milieu de la roue et que les rayons du

demi-cercle supérieur de la roue sont tendus, tandis que ceux du demi-cercle inférieur sont lâches.

Au contraire, les rayons d'une roue en bois travaillent par compression ; il en résulte que le heurt produit par la rencontre d'un gros caillou, s'il est assez violent pour ne pas être absorbé complètement par le pneu, et, en tous cas, que la réaction produite par le choc sur le pneu se transmet directement au moyeu.

Les rayons métalliques, au contraire, travaillant par tension, le heurt se répartit, aussitôt produit, sur une notable partie de la circonférence de la roue ; il se trouve donc très atténué, lorsqu'il est ressenti par le moyeu.

Il s'ensuit que si deux roues, l'une à rais en bois, l'autre à rais en acier, chargées d'un même poids, ayant un même diamètre, des pneus identiques et également gonflés roulent sur un même sol, la roue en bois sautera et bondira beaucoup plus que la roue en fer, et que l'enveloppe extérieure du pneu de la roue en bois sera beaucoup plus vite usée.

Les Fig. 101, 102 et 103 montrent les détails du pneumatique Michelin et son montage sur roues en bois et à rayons d'acier.

Bien des personnes hésitent, à tort, croyons-nous, à employer des pneumatiques craignant les ennuis que des déchirures pourraient leur occasionner. Ceux qui ont tenté l'expérience savent fort bien qu'il n'y a rien à craindre de ce côté, car, l'épaisseur de l'enveloppe exté rieure est telle que les clous, le verre ou les fragments de silex que l'on peut rencontrer sur la route n'offrent aucun danger sous ce rapport.

A côté des pneumatiques, les bandages en caoutchouc peuvent rendre de grands services.

M. Vinet, dans cette voie, est arrivé à un tel degré de perfection, qu'il entretient à l'abonnement, non seule-

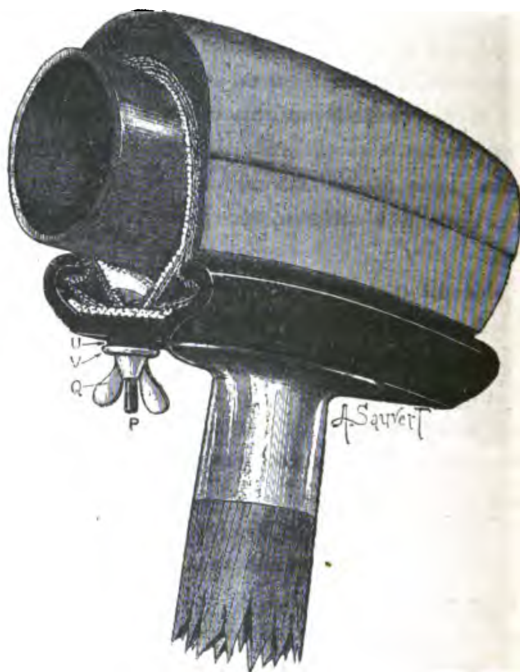


Fig. 101.

ment les caoutchoucs de voitures de maître, mais aussi les bandages des fiacres et les automobiles. C'est lui qui, le premier, au mois d'octobre dernier, a lancé sur la place les premiers fiacres caoutchoutés.

Avec son système, le caoutchouc ne peut, dans aucun cas, s'arracher du fer, ce qui est un point très important au point de vue de la sécurité.



Fig. 102.

Parmi les maisons qui se sont également adonnées à cette spécialité, nous tenons à signaler tout particuliè-

rement la maison Edline et la maison Torrilhon, dont la réputation n'est plus à faire.

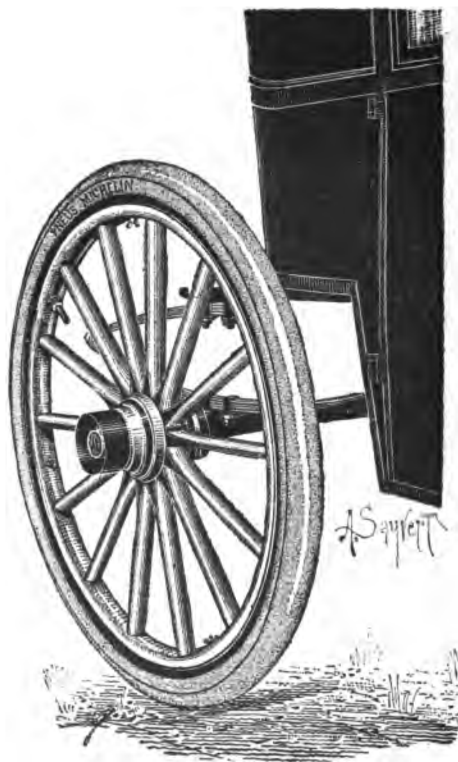


Fig. 103.

RESSORTS — ESSIEUX

Dans la construction des voitures automobiles, la fabrication des ressorts, des essieux et des roues joue un rôle des plus considérable, je dirai même vital, en raison des dangers énormes auxquels peut exposer la rupture d'un de ces organes. Aucune matière employée ne peut être trop bonne, aucun soin de vérification ne peut être excessif et le constructeur doit s'adresser aux maisons les mieux réputées pour la fabrication de ces pièces.

Entre autres maisons sérieuses, je citerai la maison Hannoyer de Paris, qui s'est fait une spécialité de construire, dans des conditions exceptionnelles d'élégance et de solidité, les trains complets pour voitures automobiles.

Les ressorts généralement adoptés sont du type « Pincettes » ; cette forme flexible se prête bien à la fixation sous châssis en T ou en U.

Les ressorts d'arrière sont souvent fixés sous une traverse en fer qui se déplace longitudinalement au moyen de vis de réglage pour rappeler l'allongement des chaînes.

Les ressorts du type « Droits » s'emploient de préférence pour les fortes charges.

Employés à l'arrière des voitures, ils se prêtent mieux que les pincettes à l'adaptation des freins fonctionnant sur bandages.

On emploie également pour les petites voitures des

ressorts en C ou « pincettes », en C à articulations. Ces ressorts sont d'une forme élégante et donnent une grande douceur à la suspension. Ils absorbent et paralysent une partie des trépidations du moteur.

Les ressorts, quels qu'ils soient, doivent être étudiés avec le plus grand soin, au point de vue de l'élasticité et de la flexibilité, c'est-à-dire de la perte de flèche sous l'unité de poids.

L'acier trempé doit donner aux épreuves de flexion un allongement de 5 millimètres par mètre, sans déformation persistante.

Une machine spéciale fort intéressante fonctionne dans les magasins de M. Hannoyer à Paris; cette machine permet l'étude très facile de l'allongement et de la flexibilité des ressorts.

On peut employer deux genres d'essieux dans la construction de voitures automobiles :

1° L'essieu ordinaire dont la construction est suffisamment connue pour qu'il soit inutile de la rappeler;

2° L'essieu à billes.

La diminution de l'effort de traction par l'emploi de coussinets à billes a été pratiquement démontrée par son emploi dans les bicyclettes. Il va de soi, du reste, qu'un frottement de roulement est de beaucoup inférieur au frottement de glissement que l'on a dans les essieux ordinaires.

Pour les voitures automobiles d'un poids relativement élevé, il convient d'employer plusieurs rangées de billes de façon à éviter leur écrasement. La maison Hannoyer que nous avons déjà citée emploie d'ordinaire des es-

sieux à bille à quadruple rotation et à boîte amovible. Le roulement s'effectue sur quatre, six ou huit séries de billes, suivant la longueur de la fusée qui est elle-même proportionnelle à la charge portée.

Les essieux de devant, nous le savons, sont généralement montés sur pivots verticaux. Là encore, la qualité du fer et le forgeage jouent un rôle des plus important. Les fers doivent subir des essais sérieux et donner à la traction des allongements de 28 à 78 $^0/_0$, avec une résistance à la rupture de 35 kg au moins par millimètre carré.

Joints. — La fibre vulcanisée est employée par presque tous les constructeurs d'automobiles ; on en fait des joints de moteurs à essence, ainsi que pour les engrenages de petit diamètre pour les transmissions.

La fibre qui a déjà rendu tant de services pour l'électricité en rendra encore davantage sur les automobiles, voitures et tramways.

CARBURATEURS — ALLUMAGE — MISE EN TRAIN — TRÉPIDATIONS

Carburateurs. — Dans la description des moteurs à pétrole, on n'insiste généralement pas assez sur le carburateur qui est pourtant un des organes les plus délicats et les plus importants, et dont dépend au suprême degré la bonne marche d'un véhicule. A vrai dire, les constructeurs eux-mêmes n'ont pas attaché assez d'importance à cette question et, à notre avis, il y a encore beaucoup à faire dans cette voie.

Tous les carburateurs actuels sont basés sur la vaporisation de l'essence de pétrole sous l'action d'un courant d'air. Il en résulte forcément que les parties les plus légères de l'essence sont vaporisées d'abord, en sorte que cette dernière devient de plus en plus lourde à mesure que le réservoir se vide. Il arrive même un moment où la densité devient si élevée que la carburation, ne pouvant plus se faire dans de bonnes conditions, le moteur cesse de fonctionner. On est obligé alors de vider le réservoir et de remettre de la gazoline fraîche.

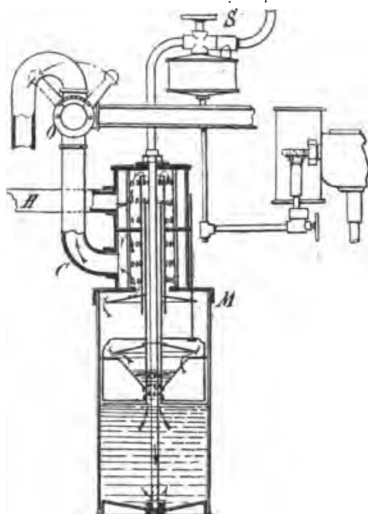


Fig. 104. — Carburateur Daimler.

Les carburateurs employés par M. G. Daimler n'échappent pas à cette critique ; nous croyons utile d'insister sur cette question afin de permettre au lecteur de se rendre compte de ce qui, peut-être, a été fait de mieux jusqu'à présent.

Les figures 104 et 105 représentent deux types de carburateur brevetés par M. G. Daimler.

Le plus ancien est représenté sur la Fig. 104. Il se compose essentiellement d'un réservoir cylindrique, d'un flotteur, d'un indicateur de niveau, d'un tube axial ser-

vant à introduire la gazoline, d'ouvertures pour l'introduction de l'air et pour sa sortie après carburation, d'un robinet modérateur, et enfin d'un chapeau cylindrique percé de trous.

Tous ces détails sont représentés sur la figure.

L'introduction du pétrole dans le réservoir P est réglée par le robinet S. Le flotteur coulisse sur un tube ouvert à sa partie supérieure et dont l'autre extrémité plonge dans le pétrole; l'air arrivant par H, passe dans ce tube, barbotte dans le pétrole et sort par C, après avoir passé à travers le chapeau M. Un robinet O à trois directions sert à régler le mélange d'air et d'air carburé qui est aspiré dans le moteur; sa construction est telle, que l'on diminue la proportion d'air lorsqu'on augmente celle de l'air carburé et inversement. Il est bon de remarquer également que l'air, avant de passer dans l'appareil de carburation, est réchauffé par un brûleur qui n'est pas représenté sur la figure. Ce réchauffage n'est pas nécessaire en été, mais il peut rendre de grands services en hiver en favorisant la bonne carburation de l'air.

L'ensemble de la disposition que nous venons de décrire offre deux inconvénients sérieux : 1° la mauvaise utilisation de la gazoline, dont les parties les plus lourdes ne sont pas évaporées; 2° l'instabilité du niveau de l'essence dans le réservoir P qui, pour bien faire, devrait être alimenté automatiquement.

C'est pour obvier à ce dernier défaut que l'on a construit l'appareil représenté sur la Fig. 105. Le pétrole arrive par N, passe par le canal O et la soupape C et vient remplir le réservoir A. Lorsque le niveau de la gazoline

atteint une certaine hauteur, déterminée par celle de l'ajutage I, un flotteur B ferme la soupape C et interrompt l'arrivée de l'essence. Le réservoir A communique avec la bougie I, en sorte que la gazoline vient affleurer à son extrémité et se trouve vaporisée par l'air qui, de la chambre F, passe sur l'ajutage, et de là dans le cylindre du moteur. Une clef L permet de faire varier la richesse du mélange explosif en laissant passer plus ou moins d'air. Le jeu du flotteur B assure un niveau absolument constant, ce qui est indispensable pour éviter le débordement de I.

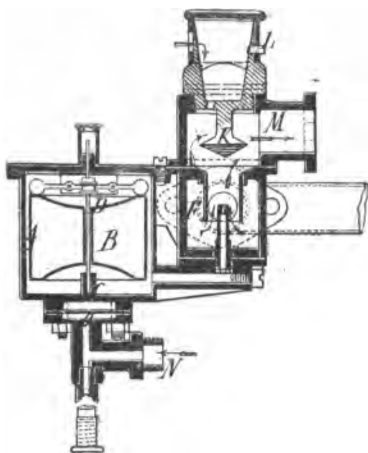


Fig. 105. — Carburateur Daimler.

Ce carburateur fonctionne bien et sa grande simplicité le rend très recommandable ; mais, comme dans le premier que nous avons décrit, les éléments les plus légers de la gazoline se vaporiseront d'abord, ce qui détermine une augmentation progressive de la densité de l'hydrocarbure employé et peut provoquer l'arrêt du moteur. Il est évident, du reste, que la carburation de l'air sera d'autant plus active que la température sera plus élevée, et il en résultera que, suivant que le moteur fonctionne le matin ou le soir, au soleil ou à l'ombre

l'été ou l'hiver, on devra agir sur le robinet L, de façon à obtenir un mélange de richesse déterminée. Cette manœuvre est très délicate et il est souvent difficile de tomber sur le degré d'admission d'air qui correspond à la bonne marche de la voiture.

Le carburateur de M. Loyal, que nous avons décrit dans le courant du Chapitre IX échappe en partie aux inconvénients dont nous venons de parler. L'introduction du pétrole se fait à la partie inférieure du récipient qui le contient, ce qui amène la carburation des parties les plus lourdes d'abord et permet, par conséquent, d'épuiser complètement la réserve d'essence. Il est à remarquer cependant que la quantité de pétrole introduite à chaque aspiration du moteur dépendra de la hauteur qu'il occupera dans le récipient C′ (voir la Fig. 83) et cela pour deux raisons : 1° parce que la soupape s'écartera de son siège d'autant plus facilement que la pression sera plus forte et par conséquent sera fonction de la hauteur de l'essence contenue dans C′ ; 2° parce que la quantité d'essence passant par la soupape sera également proportionnelle à cette hauteur.

Il paraît cependant aisé de construire un appareil donnant un mélange constant, quelle que soit la température extérieure et, à notre avis, le schéma représenté Fig. 106 pourrait bien réaliser ce desideratum.

Que faut-il, en effet, pour que, sous l'influence de l'aspiration produite par le piston, il entre toujours dans le cylindre une même quantité de vapeur de pétrole à travers un orifice de section constante ?

Deux conditions doivent être remplies : 1° La pression qui commande l'entrée des vapeurs carburées doit être

constante ; 2° La densité de ces vapeurs doit être invariable.

Supposons que nous ayons réalisé l'appareil représenté Fig. 106. L'essence de pétrole arrive par A sous une certaine pression P due à la hauteur du réservoir et tombe dans le récipient R chauffé par un brûleur B. En tombant sur la paroi chauffée par le brûleur, l'essence se vaporisera et donnera naissance à une pression qui ira en augmentant jusqu'à ce qu'elle fasse équilibre à la pression P qui sollicite le pétrole à sortir de A.

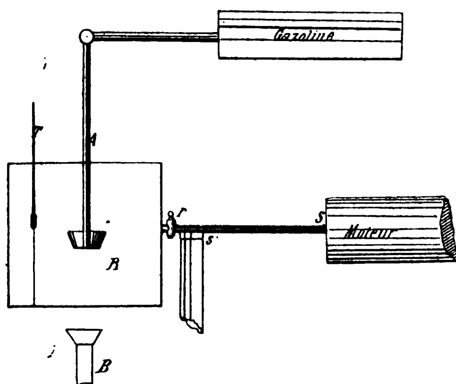


Fig. 106.

La pression dans le réservoir R est donc bien déterminée.

La richesse, c'est-à-dire la densité des vapeurs sera, pour une pression donnée, fonction de la température, et, si cette dernière est constante, la densité sera invariable. Un thermomètre T plongeant dans le réservoir de vapeurs carburées permet de se rendre compte de

leur température, et rien ne sera plus simple que de régler le brûleur B de façon à obtenir la température voulue pour laquelle on aura réglé une fois pour toutes l'ouverture du robinet *r*. Il faudra forcément munir l'arrivée d'air d'une soupape de retenue *s'* pour empêcher les vapeurs de pétrole de passer dans l'atmosphère.

A première vue, on pourrait croire qu'une fois sorties du réservoir chaud R les vapeurs se condenseront. Il n'en est pas ainsi, parce que, en sortant par le robinet *r*, elles se détendent et se mélangent dans un grand volume d'air avant d'entrer dans le cylindre. On trouverait peut-être utile néanmoins de faire passer le tuyau d'arrivée d'air près du brûleur B de façon à réchauffer ce dernier.

Il serait imprudent de compter sur la chaleur des gaz d'échappement pour réchauffer le réservoir R, parce que cette source de chaleur n'est pas constante et n'existe pas lors de la mise en marche. Sans préjuger de la valeur de ce dispositif, il nous paraît simple, efficace et exempt des inconvénients que l'on rencontre dans les appareils analogues construits jusqu'à ce jour.

Allumage. — Le mode d'allumage qui était autrefois le plus employé est celui dit par flamme. Cet allumage se divise lui-même en trois catégories :

1° Allumage par aspiration de flamme réservé aux moteurs sans compression ;

2° Allumage par transport de flamme ;

3° Allumage par propagation de flamme.

Ces deux derniers moyens sont propres aux moteurs à compression préalable à deux ou à quatre temps ; nous ne nous arrêterons pas à leur description car ils sont

absolument impraticables pour les applications des moteurs à la locomotion, à cause de la délicatesse des organes de distribution qu'il faut employer, des trépidations et des courants d'air qui peuvent éteindre la flamme.

Actuellement, ce mode d'allumage est presque partout abandonné, même pour les moteurs industriels ; on l'a remplacé avantageusement par tube incandescent dont nous avons eu l'occasion d'entretenir nos lecteurs.

Pour les petits moteurs dont la puissance ne dépasse pas 4 ou 5 chevaux, l'allumage se fait automatiquement à la fin de la compression. Le tube est disposé dans la chambre d'explosion de façon à ce que, à la fin de l'émission des gaz, il reste encore une certaine quantité de gaz brûlés au fond du cylindre et dans le tube en question. Après l'admission des gaz neufs et pendant la compression, ces derniers ne se mélangent que peu avec les gaz brûlés qui remplissent l'éprouvette incandescente ; ce n'est que lorsque la compression a atteint sa valeur maximum que le mélange explosif, ayant refoulé les gaz inertes au fond de l'éprouvette, peut venir en contact avec les parois chauffées de celle-ci et déterminer l'explosion. Nous avons déjà fait remarquer que des fuites ou une admission variable de gaz peuvent faire varier le degré de compression et, par conséquent, le point d'allumage ; si la compression n'est pas suffisante, il y aura un raté ; si elle est trop considérable l'explosion se produira avant la fin de la course rétrograde et le moteur sera sollicité à tourner en sens inverse. Nous dirons cependant que, pour les moteurs bien construits, ce mode d'allumage donne de très bons résultats.

Le brûleur qui maintient l'éprouvette à l'incandescense peut être de forme quelconque, mais il doit assurer une température aussi constante que possible. Les brûleurs genre Longuemarre sont très employés et donnent des résultats très satisfaisants.

Lorsque les moteurs atteignent des dimensions relativement considérables, il est recommandable de prévoir un appareil de distribution supplémentaire actionné mécaniquement par le moteur et dont la fonction est de mettre au moment voulu le mélange explosif en contact avec un fil de platine incandescent.

Dans certains cas, lorsque l'on se sert d'une éprouvette, il est possible de se passer complètement de brûleur. La compression et l'explosion des gaz est suffisante pour maintenir l'éprouvette à une température convenable. La mise en train du moteur s'obtient en chauffant le tube à l'aide d'une petite lampe à main. L'allumage du moteur Loyal que nous avons décrit au Chapitre IX est basé sur ce principe.

Un dernier mode d'allumage très employé est l'allumage électrique.

La température de l'étincelle électrique est, on le sait très considérable, et chaque fois que l'étincelle se produira au sein d'un mélange à titre voulu, l'explosion sera presque instantanée ce qui est très avantageux. Trois conditions président au bon fonctionnement de l'allumage électrique :

1° L'étincelle doit se produire au moment précis où l'on en a besoin ;

2° Elle doit se produire au sein d'un mélange riche en hydrocarbures ;

3° L'étincelle doit être à une température élevée.

Bien que ces conditions soient théoriquement faciles à remplir, il n'en est pas toujours de même en pratique.

L'étincelle doit être chaude; par conséquent, le voltage est relativement faible si l'on ne veut pas employer une bobine trop considérable.

Les points entre lesquels se produit l'étincelle doivent donc être assez rapprochés; il en résulte que la moindre impureté qui viendrait se placer sur la bougie d'allumage pourrait empêcher sa production. Pour obvier à cet inconvénient, il convient de placer cette bougie tout près des orifices d'admission des gaz qui, par leur passage, nettoient plus ou moins l'extrémité de la bougie.

C'est également à cette position que correspond le mélange le plus riche en hydrocarbures et la température moyenne la plus élevée qui empêchera la formation de goudron ou de cambouis sur la bougie.

Il est à remarquer que ce n'est jamais la soupape d'admission qui s'encrasse, mais bien la soupape d'échappement à cause de la condensation des vapeurs hydrocarburées.

Nous dirons enfin que l'allumage électrique bien compris donne d'excellents résultats.

On reproche souvent à l'allumage électrique de nécessiter l'emploi d'une bobine d'induction et d'un générateur d'électricité encombrant et peu pratique, la pile.

Il serait peut-être préférable de remplacer la pile voltaïque par un accumulateur qui prendrait moins de

place, mais là encore on pourra faire valoir que la charge de l'accumulateur est une sujétion ennuyeuse.

Il y a un moyen de remédier à ces inconvénients, moyen qui, à notre connaissance, n'a pas encore été appliqué et qui pourtant ne peut manquer d'offrir de réels avantages.

Ne pourrait-on pas disposer dans une petite boîte spéciale, montée sur une glissière, un accumulateur, une bobine et une petite dynamo dont l'arbre muni d'une petite poulie projetterait à l'extérieur de la boîte? Quoi de plus simple alors, pendant la marche du véhicule, que d'amener cette petite poulie en contact avec un plateau monté sur l'arbre moteur qui communiquerait le mouvement à la dynamo. Un levier permettant de faire coulisser la boîte sur la glissière qui la supporte pourrait effectuer cette opération. On n'aurait plus à s'occuper de la charge de l'accumulateur et tous les appareils électriques pourraient se trouver renfermés dans une boîte de 30 centimètres de long sur 20 centimètres de hauteur.

La mise en marche du moteur pourrait s'effectuer avec le même appareil. Il suffirait, en effet, de mettre la poulie à même de faire tourner le moteur désembrayé et d'envoyer le courant des accumulateurs dans la dynamo. Rien ne serait plus simple et on éviterait l'opération ennuyeuse de la mise en marche. Il va de soi que si les accumulateurs avaient une certaine puissance, rien n'empêcherait de s'en servir pour éclairer les lanternes de la voiture, en sorte qu'avec l'appareil destiné à l'allumage on pourrait effectuer la mise en train et l'éclairage de la voiture. La disposition que nous signalons

est absolument praticable et nous nous engageons même à la réaliser sur demande.

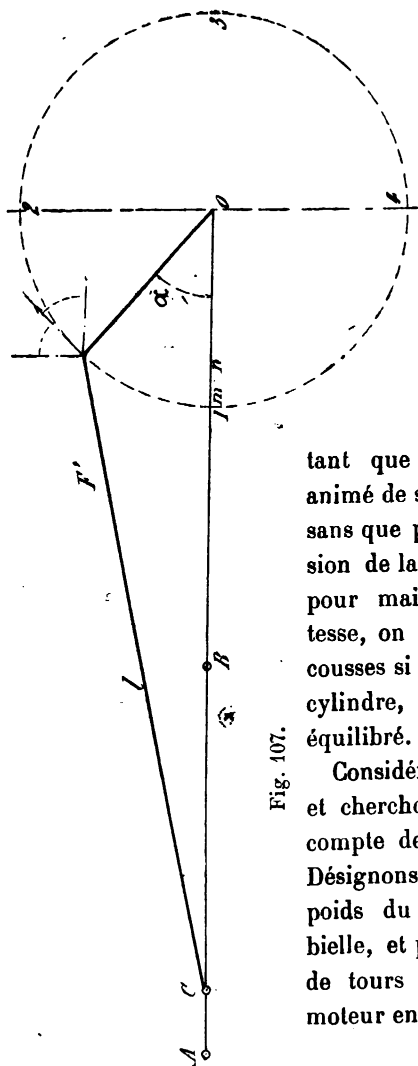


Fig. 107.

Trépidations. — Les trépidations d'une voiture automobile sont dues uniquement aux chocs occasionnés par la marche du moteur.

Si nous supposons un instant que le moteur soit animé de sa vitesse normale sans que pour cela l'explosion de la gazoline ait lieu pour maintenir cette vitesse, on ressentira des secousses si le moteur est à un cylindre, c'est-à-dire non équilibré.

Considérons la Fig. 107 et cherchons à nous rendre compte de ce qui se passe. Désignons par $P + Q$ le poids du piston et de la bielle, et par N le nombre de tours que doit faire le moteur en une minute.

Nous aurons alors :

$$x = Ac = mn = r\,(1 - \cos\alpha)$$

d'où, la vitesse de translation sera :

$$v = \frac{dx}{dt} = r \sin\alpha \,\frac{d\alpha}{dt}$$

et l'accélération

$$j = r \cos\alpha \left(\frac{d\alpha}{dt}\right)^2;$$

ou bien

$$j = r \cos\alpha \left(\frac{N}{60}\right)^2.$$

La pression due à l'influence de la force vive des pièces en mouvement aura donc pour expression :

$$F_x = \frac{P + Q}{g} \,.\, r \cos\alpha \left(\frac{N}{60}\right)^2;$$

ce qui donne

$$F_x = K' \cos\alpha,$$

K' étant une constante qui dépend de la vitesse de rotation et du poids des pièces en mouvement. La pression F_x s'annulera pour $\alpha = 90$ et sera maximum au commencement et à la fin de chaque course, ainsi que le représente la Fig. 108.

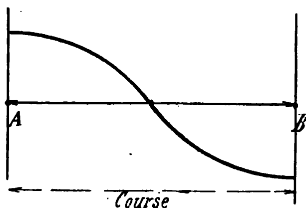


Fig. 108.

Si nous faisions un calcul analogue relativement au

mouvement de la bielle suivant *oy* en supposant, pour ne pas compliquer les calculs, que la moitié du poids de la bielle décrit un cercle de rayon *om* et que la force d'inertie est appliquée au milieu de celle-ci, nous aurions successivement :

$$y = r - r \cos(\alpha - 90)$$

$$y = r(1 - \sin \alpha)$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = - r \cos \alpha \frac{d\alpha}{dt}$$

$$j_y = \frac{d^2y}{dt^2} = r \sin \alpha \left(\frac{d\alpha}{dt}\right)^2$$

$$F_y = \frac{Q}{2g} \cdot r \sin \alpha \left(\frac{N}{60}\right)$$

$$F_y = K'' \cdot \sin \alpha.$$

Nous pouvons supposer que cette force se répartit moitié sur la tête de bielle et moitié sur la crosse.

Ce calcul n'est évidemment que très approximatif, mais suffisant pour analyser ce qui se passe.

Négligeons l'effet des variations de pression au point d'attache du piston et de la bielle pour ne nous occuper que de la manière dont le bouton de la manivelle est sollicité.

Pour cela, décomposons les pressions suivant x et y dans des directions tangentielles et centripètes au mouvement de rotation de la tête de bielle.

Nous aurons alors :

composante tang de $F_x = T_x = F_x \sin \alpha$;

composant tang de $F_y = T_y = F_y \cos \alpha$;

composant normal de $F_x = N_x = F_x \cos \alpha$;

composant normal de $F_y = N_y = F_y \sin a$.

En remplaçant F_x et F_y par leurs valeurs on aurait :

$$T_x = K' \cos\alpha \sin\alpha = \frac{K'}{2} \sin 2\alpha$$

$$T_y = K'' \sin\alpha \cos\alpha = \frac{K''}{2} \sin 2\alpha$$

$$N_x = K' \cos^2 \alpha$$

$$N_y = K'' \sin^2 \alpha.$$

Si nous désignons par T la composante tangentielle totale et par N la composante normale, nous aurons :

$$T = T_x + T_y = \frac{K' + K''}{2} \sin 2\alpha$$

$$N = N_x + N_y = K' \cos^2 \alpha + K'' \sin^2 \alpha.$$

D'après ces deux équations on voit que la composante tangentielle passe par un maximum pour $\alpha = 45^\circ$ et qu'elle devient nulle pour $\alpha = 0$ et $\alpha = 90^\circ$; la courbe représentée sur la Fig. 109 permet de se rendre compte des variations de T en fonction de α. Il est aisé de voir que cette force est positive et tend à arrêter le mouvement du moteur pendant la première moitié de la course directe, tandis qu'elle tend à l'accélérer pendant la dernière moitié de la même course.

La composante normale N représentée par la courbe de la Fig. 110 est au contraire maximum pour $\alpha = 0$, et minimum pour $\alpha = 90^\circ$.

La grandeur de cette force est à chaque instant représentée en grandeur et en direction par le rayon correspondant de l'ellipse.

Il résulte donc de l'action des masses en mouvement

que l'arbre moteur sera tantôt soulevé, tantôt appuyé sur son palier, et qu'une pression tangentielle sur la tête de bielle aura pour effet tantôt d'accélérer le mouvement, tantôt de s'y opposer.

Ces variations d'efforts créeront des chocs s'il y a le moindre jeu dans les articulations du moteur et tendront, par conséquent, à augmenter le jeu de ce dernier. Pour éviter en partie ces effets nuisibles, les variations de l'effort normal N, il convient d'employer des machines à deux cylindres dont les manivelles sont calées à 180°. Dans ce cas, des tensions égales agissent des deux côtés et par conséquent s'équilibrent.

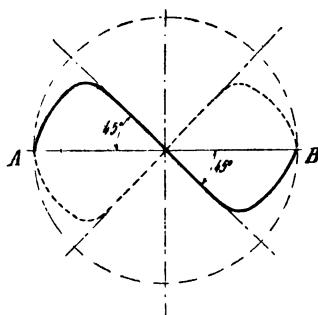


Fig. 109.

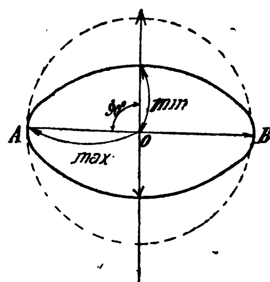


Fig. 110.

Au début de chaque course l'effort normal dû au mouvement de translation et représenté par la moitié du grand axe de l'ellipse de la Fig. 110 n'occasionne pas forcément un changement de sens de la pression sur le bouton de la manivelle.

Il faut encore tenir compte d'un autre facteur, la pression des gaz sur le piston.

Reportons-nous à la Fig. 111 et portons en ordonnées sur AB comme abcisse des longueurs proportionnelles à la pression des gaz sur le piston. Dans le cas d'un moteur à quatre temps le diagramme sera représenté par la courbe 1, 2, 3, 4, 5, 6. Pendant l'émission et l'admission des gaz la ligne des pressions 5 4 et 4 5 coupera forcément la courbe 1 7 qui représente les variations de pression dues aux masses en mouvement.

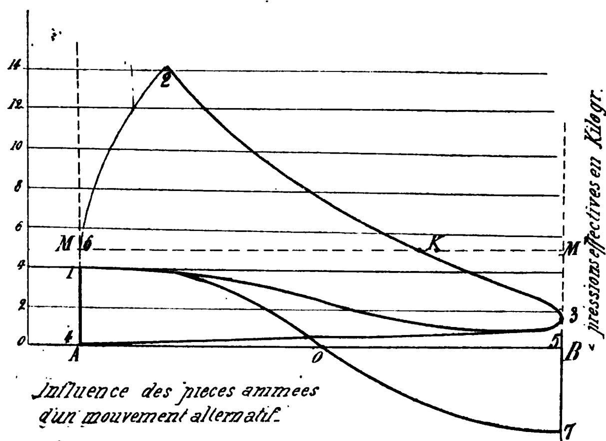


Fig. 111.

Il y aura donc forcément un changement de sens de l'effort sur le bouton de la manivelle, puisque cette masse ne peut être réduite à 0. On aura avantage cependant à calculer le poids des pièces en mouvement, de façon à éviter que ce changement de sens de l'effort se produise pendant les périodes d'explosion, de détente et de compression. Il faudra pour cela, ainsi que l'indique la figure, que la compression soit suffisante pour créer

une pression au moins égale à celle des masses en mouvement à la fin de la course rétrograde.

La Fig. 112 représente le diagramme d'une machine à deux temps. Il y aura toujours un changement de sens de l'effort pendant l'émission. L'admission des gaz devra se faire à une pression au moins égale à celle créée par les masses en mouvement.

De l'étude que nous venons de faire au sujet des pièces à mouvement alternatif il résulte :

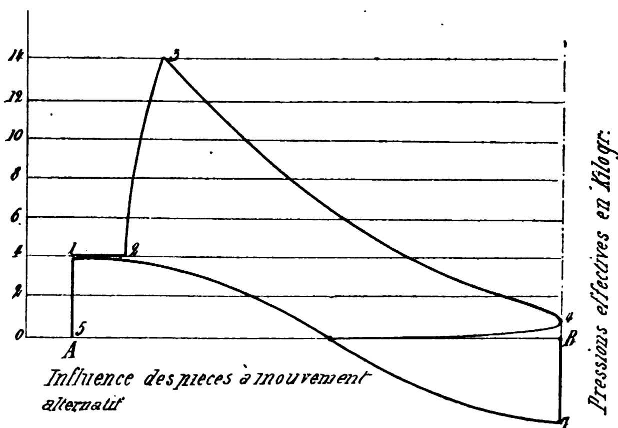


Fig. 112.

1° Que le moteur devra être équilibré, c'est-à-dire composé de deux cylindres dont les bielles attaquent des manivelles calées à 180°, afin d'éviter des pressions exagérées sur les paliers ;

2° Que les masses animées d'un mouvement alternatif doivent être aussi réduites que possible ;

3° Que la compression devra être au moins égale à la réaction maximum des pièces en mouvement. Les for-

mules que nous avons établies permettent de calculer cette réaction.

Ces conditions tendent à réduire autant que possible le changement de sens de l'effort exercé sur le bouton de la manivelle. Au point de vue des secousses imprimées à la voiture, l'augmentation brusque de pression due à l'explosion des gaz, a une importance bien plus considérable. Elle a lieu, nous le savons, au commencement de la course et aura donc pour effet d'allonger le bâti qui supporte le moteur, en communiquant un choc à la voiture. L'élasticité ramènera de suite ce bâti à son écartement normal, mais, tous les deux tours le même choc se reproduira.

C'est là une des causes de secousses qu'il est impossible d'éviter, à moins de diminuer considérablement la valeur de la pression au moment de l'explosion. On pourrait réaliser ce désidératum en augmentant la longueur du cylindre pour prolonger la détente et en laissant une grande quantité de gaz neutres dans ce dernier au moment de l'explosion. M. Loyal a appliqué ce procédé à son moteur que nous avons décrit au chapitre IX.

Un autre moyen est de réaliser une véritable chaudière à gaz chauds sous pression analogue au système que nous avons décrit au sujet de la voiture Duryea.

Pour éviter que le travail considérable disponible pendant l'explosion et la détente ne communique le mouvement à la voiture par à-coups, il convient de munir le moteur d'un volant assez considérable. Si la ligne MM' (fig. 111) représente l'ordonnée moyenne proportionnelle au travail moyen fourni par le moteur, la surface $(M2K - M'K3)$, représentant le travail en excès

produit pendant la période de détente, doitêtre emmagasinée par le volant sans créer un accroissement considérable de la vitesse. Le volant d'une voiture est constitué non seulement par la roue pesante que l'on cale sur l'arbre et qui porte généralement ce nom, mais encore par la force vive totale de la voiture en mouvement.

Si nous désignons par v la vitesse de translation du véhicule, par M sa masse, par v' la vitesse circonférentielle du volant proprement dit et par M' sa masse, la force vive de l'ensemble sera représentée par

$$W = \frac{1}{2}(Mv^2 + M'v'^2);$$

et si on pose

$$\frac{v}{v'} = n$$

on aura :

$$W = \frac{1}{2}\left(Mv^2 + M'\frac{v^2}{n^2}\right)$$

ou

$$W = \frac{1}{2}v^2\left(M + \frac{M'}{n^2}\right).$$

Si l'on ne veut admettre qu'un accroissement de $\frac{v}{m}$ de la vitesse normale, on devra avoir :

$$\text{Travail}\,(M2K - M'K3) = \frac{1}{2}\left(M + \frac{M'}{n^2}\right)\left(v + \frac{v}{m}\right)^2.$$

Équation d'où l'on pourra déduire la valeur de la masse M' à donner à un volant de diamètre donné, connaissant la masse du véhicule et la vitesse normale de ce dernier et du moteur.

Lorsque la voiture ne marche pas à sa vitesse normale, il y a forcément des à-coups ; pour les éviter il vaudra mieux calculer M' sur une vitesse inférieure à la vitesse moyenne.

Nous terminerons ici l'examen de ces conditions quelque peu théoriques dont nous n'avons fait qu'ébaucher l'étude. Nous avons, en effet, absolument négligé l'action des ressorts de la voiture et des bandages sur lesquels elle peut être montée. Cette action sera régulatrice et amortira les à-coups du moteur. Le cadre du présent ouvrage ne nous permet pas d'aborder la théorie de ces phénomènes ; elle serait, du reste, incapable de nous fixer avec exactitude sur ce point.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE IV. — ÉTUDE ET DESCRIPTION DES DIVERS SYSTÈMES DE TRACTION A VAPEUR

CHAPITRE V. — AUTOMOBILES A AIR COMPRIMÉ

CHAPITRE VI. — AUTOMOBILES A PÉTROLE

Imp. DESTENAY, Saint-Amand (Cher). — BUSSIÈRE frères.

